

การเพิ่มความเร็วการทำงาน และระบบสั่งงานออนไลน์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

Printing Speed Improvement and Online Control System of a 3D Printer



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การเพิ่มความเร็วการทำงาน และระบบสั่งงานออนไลน์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

Printing Speed Improvement and Online Control System of a 3D Printer

โดย

นายธนพล วัชรโกเมนกุล 60010395

นายเนติ แซ่โจ้ว 60010550

นางสาวพรอุมาวดี ต้วงศาลา 60010667

นางสาวพิชาพร หอมหวล 60010708



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์

ผศ.เทพจิตร เขยโกคา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาเอกสารฉบับนี้ และแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเพิ่มความเร็วการทำงาน และระบบสั่งงานออนไลน์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

Printing Speed Improvement and Online Control System of a 3D Printer

ผู้จัดทำ

1. นายธนพล วัชรโกเมนกุล 60010395
2. นายเนติ แซ่โจ้ว 60010550
3. นางสาวพรอุมาวดี ต้วงศาลา 60010667
4. นางสาวพิชาพร หอมหวล 60010708


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร. คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.เทพจิตร์ เซยโสภา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์เทพจิตร์ เชยโกคา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คงศักดิ์ อนันตธีรณัฐณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ รวมถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหา ทำให้เกิดความรู้และมอบประสบการณ์ที่ดี

ขอขอบคุณเพื่อนและรุ่นพี่ ในสาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา คำแนะนำตลอดระยะเวลาที่ได้ทำโครงการ

ขอขอบคุณนายสุภวิชฌ์ เตชะกมลสุข เพื่อนผู้เชี่ยวชาญในงานพิมพ์ 3 มิติ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมถึงชี้ช่องทางในการศึกษาในเรื่องต่าง ๆ ของระบบการพิมพ์ 3 มิติ

ขอขอบคุณบุคคลอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องคอยช่วยเหลือให้ความรู้เพิ่มเติม และขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนที่เป็นกำลังใจให้แก่คณะผู้จัดทำ ทำให้สามารถทำงานลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายธนพล วัชรโกเมนกุล

นายเนติ แซ่จ้าว

นางสาวพิชาพร หอมหวล

นางสาวพรอุมาวดี ดั่งศาลา

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

การเพิ่มความเร็วการทำงาน และระบบสั่งงานออนไลน์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

โดย	นายธนพล วัชรโกเมนกุล	60010395
	นายเนติ แซ่โจ้ว	60010550
	นางสาวพรอุมาวดี ด้วงศาลา	60010667
	นางสาวพิชาพร หอมหวล	60010708

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์

ผศ.เทพจิตรร์ เขยโกคา

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอวิธีการเพิ่มความเร็วการทำงาน และจัดทำระบบสั่งงานออนไลน์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งจะช่วยให้การใช้งานเครื่องพิมพ์ 3 มิติมีความสะดวกรวดเร็วมากขึ้น ด้วยการลดระยะเวลาในการพิมพ์จากการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์ 3 มิติให้มีความเร็วมากขึ้น โดยที่ชิ้นงานที่ได้จากการพิมพ์ยังคงมีคุณภาพที่ดี รวมถึงระบบสั่งงานออนไลน์ที่จะทำให้สามารถสั่งเครื่องพิมพ์ 3 มิติให้ทำงานจากที่ใดก็ได้ โดยสามารถตั้งค่า และมีภาพขณะพิมพ์ให้กับผู้ใช้งานได้ติดตามสถานการณ์พิมพ์อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

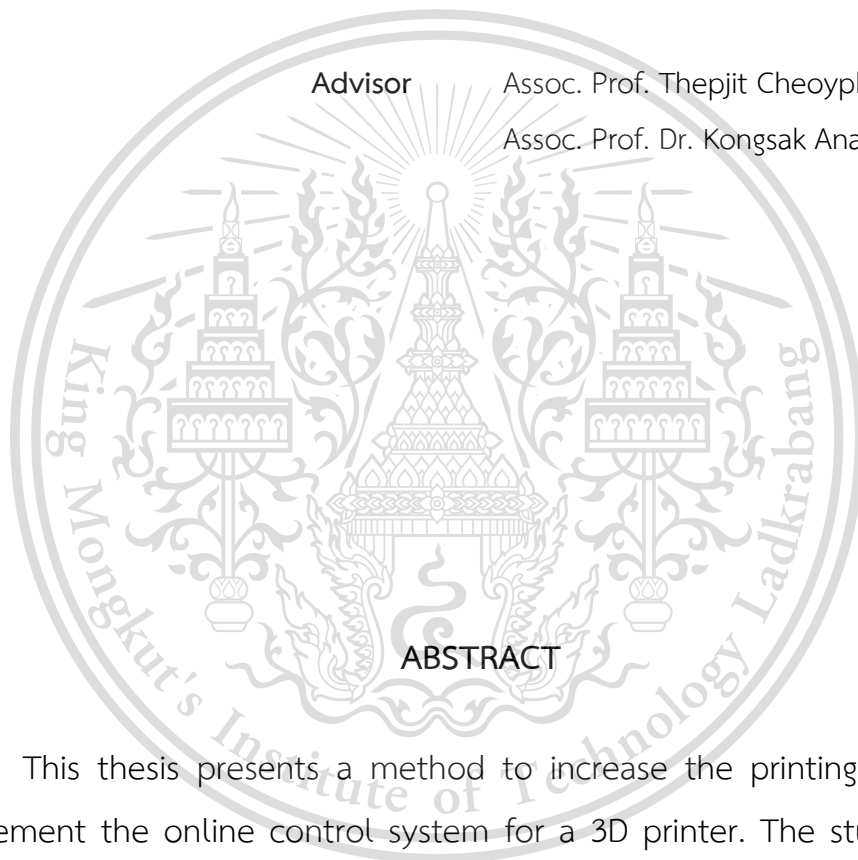
||

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Printing Speed Improvement and Online Control System of a 3D Printer

By Mr. Tanaphon Watcharakomenkul 60010395
Mr. Neti Saengow 60010550
Miss Phon-Umawadee Duangsala 60010667
Miss Pichaporn Homhual 60010708

Advisor Assoc. Prof. Thepjit Cheoyphokha
Assoc. Prof. Dr. Kongsak Anatahiranrat



ABSTRACT

This thesis presents a method to increase the printing speed and implement the online control system for a 3D printer. The study aims to make 3D printing faster and more convenient while retaining the printing quality. Thus, eliminate time wastes from printing errors when printing at high speed. Moreover, the online control system lets users operate, monitor, and stop the machine from anywhere, removed time and effort in traveling and constant attention.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
ABSTRACT	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 วิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer)	3
2.1.1 การจำแนกเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	4
2.1.1.1 ระบบฉีดพลาสติก (Fused Deposition Modeling, FDM หรือ FFF)	4
2.1.1.2 ระบบภาคเรซิน (Stereolithography, SLA หรือ Digital Light Processing, DLP)	4
2.1.1.3 ระบบผงยิปซัม (Power 3D Printer)	4
2.1.1.4 ระบบหลอมผงพลาสติก ผงโลหะ เซรามิก (Selective Laser Sintering, SLS)	4
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	5
2.2.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1.1 หน่วยประมวลผลกลาง หรือซีพียู (Central Processing Unit, CPU)	6
2.2.1.2 หน่วยความจำ	6
2.2.1.3 ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port)	6
2.2.1.4 ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS)	6
2.2.1.5 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	6
2.2.2 Raspberry pi	7
2.2.2.1 Raspberry pi 3	7
2.2.2.2 การใช้งาน Raspberry pi เบื้องต้น	8
2.3 การเพิ่มความเร็วการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	9
2.3.1 หัวฉีด (Extruder)	9
2.3.2 การปรับเปลี่ยนลักษณะสัญญาณอ้างอิง (Input shaping)	10
2.5 Klipper	12
2.6 OctoPrint	13
2.6.1 คุณสมบัติและการทำงานของ OctoPrint	13
2.7 G-code	17
2.8 Raspberry Pi 4 Model B	18
2.8.1 คุณสมบัติและข้อมูลจำเพาะ	19
2.9 NVIDIA Jetson nano development kit	20
2.9.1 คุณสมบัติและข้อมูลจำเพาะ	20
2.10 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital image processing)	21
2.10.1 เทคนิคที่ใช้ในการประมวลผลภาพ	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.11 The spaghetti detective

23

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญ (ต่อ)


	หน้า
2.12 3DBenchy	24
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญาบัตร	30
3.1 การออกแบบ	30
3.1.1 การออกแบบการดำเนินงานโดยภาพรวม	30
3.1.2 การเพิ่มความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	31
3.1.3 การแก้ไขปัญหาในการพิมพ์ที่เกิดจากเรโซแนนซ์	31
3.1.4 ระบบสั่งงานออนไลน์	32
3.1.5 การตรวจสอบความผิดพลาดของการพิมพ์อัตโนมัติ	32
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	32
3.2.1 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Ender 3	32
3.2.2 Raspberry pi 4 Model B	33
3.2.3 NVIDIA Jetson nano development kit	33
3.2.4 Webcam	34
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	35
3.3.1 การทดสอบ Ringing Tower Test	35
3.3.2 การทดสอบขีดจำกัดความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	35
3.3.3 การหาสาเหตุของขีดจำกัดความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	35
3.3.4 การทดสอบพิมพ์ Bumpy Lumpy Vase	35
3.3.5 การทดสอบ 3DBenchy Test	35
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	36
4.1 การทดสอบ Ringing Tower Test	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
4.2 การทดสอบขีดจำกัดความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ 38
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การหาสาเหตุของขีดจำกัดความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	40
4.3.1 ทดสอบความเร็วการเดินทางเป็นเส้นตรงของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	41
4.3.2 ทดสอบความเร็วการพิมพ์เป็นเส้นตรงของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	41
4.3.3 ตรวจสอบการตั้งค่าของตัวเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	42
4.4 การทดสอบพิมพ์ Bumpy Lumpy Vase	45
4.5 การทดสอบ 3DBenchy Test	46
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	47
5.1 สรุปผล	47
เอกสารอ้างอิง	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์	5
รูปที่ 2.3 Raspberry Pi	7
รูปที่ 2.4 ความแตกต่างของหัวฉีดประเภท Single Drive Extruder และ Dual Drive Extruder	9
รูปที่ 2.5 กระบวนการปรับเปลี่ยนลักษณะสัญญาณอ้างอิง (Input shaping)	10
รูปที่ 2.6 การสั่นก้อง	11
รูปที่ 2.7 การสั่นก้องบนชิ้นงาน	11
รูปที่ 2.8 Klipper	12
รูปที่ 2.9 OctoPrint	13
รูปที่ 2.10 หน้าเว็บไซต์แสดงกราฟอุณหภูมิของหัวฉีดและฐานวางชิ้นงาน	14
รูปที่ 2.11 หน้าเว็บไซต์แสดงข้อมูลการพิมพ์และภาพขณะพิมพ์	15
รูปที่ 2.12 หน้าเว็บไซต์แสดง G-Code ที่กำลังส่งพิมพ์	16
รูปที่ 2.13 หน้าเว็บไซต์แสดงแบบจำลองการพิมพ์	17
รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของ Raspberry Pi 4 Model B	19
รูปที่ 2.15 NVIDIA Jetson nano development kit	20
รูปที่ 2.16 The spaghetti detective	23
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการตรวจสอบของ The spaghetti detective เมื่อเกิดความผิดพลาดในกระบวนการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	24
รูปที่ 2.18 3D Benchy	24
รูปที่ 2.19 ตัวเรือของ 3DBenchy	25
รูปที่ 2.20 พื้นผิวเรียบแนวอนของ 3DBenchy	25
รูปที่ 2.21 พื้นผิวห้อยของ 3D Benchy	26
รูปที่ 2.22 พื้นผิวความชันต่ำของ 3DBenchy	26
รูปที่ 2.23 รายละเอียดขนาดเล็กที่ผิวใน 3DBenchy	27
รูปที่ 2.24 รูปทรงกระบอกใน 3DBenchy	27
รูปที่ 2.25 รูตามแนวราบขนาดใหญ่ ของ 3DBenchy	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.26 รูตามแนวราบขนาดเล็ก ของ 3DBenchy	28
รูปที่ 2.27 รูเอียงขนาดเล็ก ของ 3DBenchy	29
รูปที่ 2.28 รายละเอียดบนเลเยอร์แรก	29
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบรวม	30
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	31
รูปที่ 3.3 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Ender 3	33
รูปที่ 3.4 Raspberry pi 4 Model B	33
รูปที่ 3.5 NVIDIA Jetson nano development kit	34
รูปที่ 3.6 Webcam	34
รูปที่ 4.1 Ringing Tower	36
รูปที่ 4.2 ความเร็วการพิมพ์ของแต่ละชั้นใน Ringing Tower	37
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการพิมพ์ชั้นงานแต่ละชั้นตามค่าความเร็วที่ตั้งไว้ต่างๆ	40
รูปที่ 4.4 ผลตอบรับจากคำสั่ง M503 ผ่านโปรแกรม Printron	42
รูปที่ 4.5 Lumpy Bumpy Vase	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ความเร็วการพิมพ์และความเร็วขอบในการทดสอบ Ringing Tower	38
ตารางที่ 4.2 ความเร็วและเวลาที่ใช้ในการพิมพ์แต่ละชั้น	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

X

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติของสาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีจำนวนจำกัด ส่งผลให้ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน รวมถึงช่วงเวลาในการใช้งานเครื่องพิมพ์ 3 มิติของผู้ใช้แต่ละรายมีจำกัดและในแต่ละงานพิมพ์ใช้เวลานาน หลายครั้งผู้ใช้งานรายถัดไปไม่สามารถรอใช้งานต่อได้เนื่องจากผู้ใช้แต่ละรายมีกิจกรรมแตกต่างกัน ทั้งยังมีปัญหาเครื่องพิมพ์มีความเร็วในการพิมพ์ช้าและเกิดความผิดพลาดขณะพิมพ์บ่อยครั้ง

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ปริญญาบัตรฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องพิมพ์ 3 มิติของสาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้สามารถส่งพิมพ์จากระยะไกลได้ และทำการเพิ่มความเร็วให้แก่เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ทั้งยังติดตั้งกล่องและติดตั้งระบบ Artificial Intelligence (AI) สำหรับใช้ในการตรวจสอบและป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดจากการพิมพ์ ทำให้ผู้ใช้แต่ละรายสามารถส่งพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติจากระยะไกลได้ในหลายช่วงเวลา เครื่องพิมพ์ทำงานได้รวดเร็วขึ้น ตรวจสอบการพิมพ์ได้ผ่านทางกล่องที่ติดตั้งไว้ และมีระบบที่จะคอยตรวจสอบและสั่งหยุดการพิมพ์ที่ผิดพลาดทั้งในกรณีที่เฝ้าสังเกตการพิมพ์และกรณีที่ไม่ได้เฝ้าสังเกตการพิมพ์ผ่านกล่องที่ติดตั้งไว้อยู่ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ของสาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. เพื่อให้สามารถใช้งานเครื่องพิมพ์ 3 มิติจากระยะไกลได้
3. เพื่อเพิ่มความเร็วในการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
4. เพื่อติดตั้งกล่องสำหรับการใช้ในการสังเกตการพิมพ์จากระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบ Artificial Intelligence (AI) สำหรับใช้หยุดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากการพิมพ์ระยะไกล ทั้งในกรณีที่สังเกตการพิมพ์และไม่ได้สังเกตการพิมพ์ผ่านกล้องที่ติดตั้งไว้อยู่

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. เพิ่มความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยการเปลี่ยน Extruder และป้องกันการสั่นจากความถี่เรโซแนนซ์
2. ติดตั้งระบบสำหรับการสั่งพิมพ์จากระยะไกลผ่านบอร์ด Raspberry Pi
3. ติดตั้งกล้องสำหรับใช้ตรวจดูความผิดพลาดขณะพิมพ์
4. ติดตั้งระบบ Artificial Intelligence (AI) สำหรับตรวจสอบความผิดพลาดจากการพิมพ์และสั่งหยุดการทำงาน

1.4 วิธีดำเนินงาน

1. ทดสอบความเร็วในการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
2. เปลี่ยน Extruder จากแบบ Single Drive Extruder เป็น Double Drive Extruder
3. ทำการทดสอบความเร็วอีกครั้ง
4. ติดตั้ง Raspberry Pi และติดตั้ง Klipper จากนั้นทำการหาความถี่เรโซแนนซ์
5. ป้องกันความถี่เรโซแนนซ์ แล้วทำการทดสอบความเร็วในการพิมพ์อีกครั้ง
6. ติดตั้งระบบการพิมพ์จากระยะไกล
7. ติดตั้งระบบ Artificial Intelligence (AI) สำหรับป้องกันความผิดพลาดจากการพิมพ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เครื่องพิมพ์ 3 มิติสามารถสั่งงานได้ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น

2. เครื่องพิมพ์ 3 มิติสามารถสั่งงานผ่านระบบออนไลน์

3. เครื่องพิมพ์ 3 มิติสามารถยกเลิกการทำงานได้เมื่อเกิดความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer)



รูปที่ 2.1 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติ คือ เครื่องจักรที่มีการนำกระบวนการเติมเนื้อของวัสดุเข้ามาในการทำให้ชิ้นงานเกิดเป็นรูปร่างที่มีลักษณะ 3 มิติ โดยอาศัยข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล ซึ่งในการพิมพ์ชิ้นงาน เครื่องพิมพ์ 3 มิติจะทำการพิมพ์เป็นที่ละชั้นต่อกันไปเริ่มต้นจากส่วนฐานของชิ้นงาน

การทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิตินั้นจะต้องมีการเตรียมข้อมูลชิ้นงานให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัล โดยใช้โปรแกรมประเภท CAD (Computer Aided Design) ในการออกแบบชิ้นงาน หลังจากเตรียมข้อมูลชิ้นงานให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ดิจิทัลแล้วหลังจากนั้นจะนำไปทำการตัดชิ้นงานออกเป็นชั้นบาง ๆ เพื่อให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติสามารถทำการพิมพ์ชิ้นงานออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารในลักษณะของแผ่นหรือชั้นที่ต่อกันจนเกิดเป็นวัตถุ 3 มิติ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.1 การจำแนกเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติจะสามารถจำแนกตามวัสดุที่ใช้พิมพ์ได้เป็น 4 ระบบ คือ

2.1.1.1 ระบบฉีดพลาสติก (Fused Deposition Modeling, FDM หรือ FFF)

เป็นระบบเครื่องพิมพ์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน โดยมีหลักการ คือ การหลอมเส้นพลาสติกให้เป็นของเหลว หลังจากนั้นจึงฉีดออกมาเป็นเส้นด้วยหัวฉีดและเครื่องพิมพ์จะทำการวาดเส้นพลาสติกเหลวที่ถูกฉีดออกมาให้วางตัวตามระนาบที่ต้องการ วางตัวเป็นชั้นต่อกันไปจนสำเร็จเป็นชิ้นงาน 3 มิติ

2.1.1.2 ระบบลาดเรชิน (Stereolithography, SLA หรือ Digital Light Processing, DLP)

เครื่องพิมพ์ 3 มิติในระบบนี้จะทำงานฉายแสงไปที่ลาดใสเรซินความไวแสง (Photo Resin / Photopolymer) โดยเมื่อเรซินถูกกระทบด้วยแสงจะเกิดการแข็งตัวเฉพาะจุดที่โดนแสง จึงใช้หลักการนี้ในการทำงานของเครื่องพิมพ์ระบบลาดเรซิน และระบบนี้มักใช้กับการสร้างชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและต้องการความละเอียดสูง นิยมใช้กับธุรกิจประเภทเครื่องประดับ หรือชิ้นส่วนขนาดเล็กในอุตสาหกรรม และโมเดลฟิกเกอร์

2.1.1.3 ระบบผงยิปซัม (Power 3D Printer)

หรือมีอีกชื่อเรียกหนึ่งว่า เครื่องพิมพ์ระบบแป้ง โดยในการทำงานมีการใช้ผงยิปซัมหรือผงพลาสติกเป็นตัวขึ้นรูปชิ้นงาน เครื่องพิมพ์จะทำการพิมพ์ชิ้นงานลงไปบนผงยิปซัมและใส่สีเข้าไป ขณะเดียวกันในระหว่างพิมพ์จะฉีด Binder ไปผสมชิ้นงานให้เกิดเป็นรูปร่างขึ้น โดยจุดเด่นของเครื่องพิมพ์ระบบนี้นั้นคือจะได้สีของชิ้นงานที่มีความสมจริง เหมาะกับงานศิลปะหรือผลงานที่ต้องการให้เห็นสีที่ชัดเจน สมจริง

2.1.1.4 ระบบหลอมผงพลาสติก ผงโลหะ เซรามิก (Selective Laser Sintering, SLS)

เครื่องพิมพ์ระบบนี้มีหลักการทำงานคล้ายกันกับระบบเครื่องพิมพ์ SLA แต่มีความแตกต่างจากระบบดังกล่าวที่วิธีการทำให้เรซินแข็งตัวโดยการฉายเลเซอร์ เนื่องจากระบบ SLS จะยิงเลเซอร์ไปโดยตรงลงที่ผงวัสดุ เช่น ทองเหลือง ทำให้เกิดการหลอมละลายของวัสดุเกิดเป็นเนื้อเดียวกันและทับซ้อนต่อกันไปเป็นชั้นจนเกิดเป็นรูปร่าง 3 มิติขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

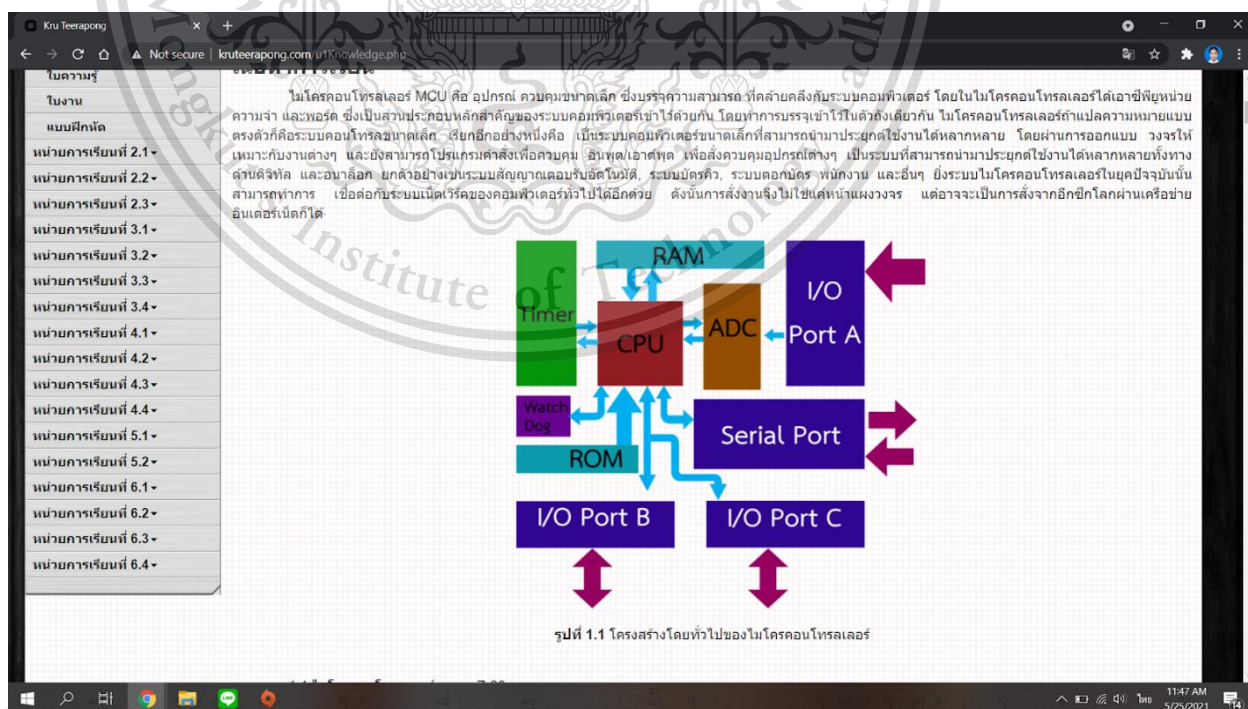
ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กที่มีความสามารถใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญของคอมพิวเตอร์ ได้แก่ ซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย ผ่านการออกแบบวงจรการทำงานให้เหมาะสมกับลักษณะการนำไปใช้ควบคุม และโปรแกรมคำสั่งควบคุมการรับอินพุต (Input) และการส่งเอาต์พุต (Output) เพื่อนำสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ ให้ทำงานได้ตรงตามความต้องการ ระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการใช้งานได้ในหลายด้าน เช่น ระบบสัญญาณตอบรับอัตโนมัติ ระบบบัตรคิว ระบบตอกบัตรพนักงาน เป็นต้น

นอกจากนี้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ยังสามารถทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบ Network ของคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้ ดังนั้น จึงสามารถใช้งานผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อีกด้วย

2.2.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์

สามารถแบ่งโครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้



ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงรูปที่ 2.2 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.1.1 หน่วยประมวลผลกลาง หรือซีพียู (Central Processing Unit, CPU)

ทำหน้าที่ในส่วนของการคิด คำนวณ ประมวลผล และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบ ภายในประกอบไปด้วย ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ประกอบกันเป็นวงจรจำนวนมาก

2.2.1.2 หน่วยความจำ

สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ หน่วยความจำสำหรับการเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

โดยในส่วนแรกหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) จะมีลักษณะการทำงานของหน่วยความจำที่เป็นการอ่าน หรือเขียนด้วยไฟฟ้า ข้อมูลในส่วนนี้จะไม่หายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง และในส่วนต่อมาหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) จะมีลักษณะในการทำงานเป็นหน่วยความจำชั่วคราว หากไม่มีไฟเลี้ยงข้อมูลในส่วนนี้จะหายไป มีลักษณะสอดคล้องกันกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่ในปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบด้วยทั้ง หน่วยความจำแรม (RAM) และหน่วยความจำอีอีพรอม (Erasable Electrically Read-Only Memory, EEPROM)

2.2.1.3 ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port)

ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) จะประกอบด้วย 2 ลักษณะ คือ พอร์ตอินพุต (Input Port) ทำหน้าที่รับสัญญาณเพื่อนำค่าสัญญาณที่รับเข้ามานำไปประมวลผลต่อ และส่งไปแสดงที่พอร์ตเอาต์พุตต่อไป และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output port) ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอกเพื่อทำการส่งสัญญาณไปแสดงค่า หรือควบคุมสั่งการทำงาน

2.2.1.4 ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS)

ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) ทำหน้าที่ในเป็นเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างหน่วยประมวลผลกลาง หรือซีพียู โดยภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีช่องทางเดินสัญญาณในลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมาก โดยสามารถแบ่งได้ออกเป็น บัสข้อมูล (Data Bus) บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

2.2.1.5 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากการทำงานภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นกับการกำหนดจังหวะสัญญาณนาฬิกา ถ้าหากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูงขึ้นเท่าไร ก็หมายความว่าการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานได้ถี่ตามที่สัญญาณนาฬิกาที่กำหนดมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะเป็นการ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เพิ่มประสิทธิภาพทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีความเร็วในการประมวลผลสูงมากขึ้นด้วย และการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาซีเป็นภาษาระดับกลาง

2.2.2 Raspberry pi



รูปที่ 2.3 Raspberry Pi

Raspberry pi เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถเท่ากับคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กและสามารถทำงานในระบบปฏิบัติการ Linux ได้ในตัว ซึ่งในการติดตั้งระบบต่าง ๆ เข้ามาใช้กับบอร์ดจะเกิดความสะดวกมากขึ้น เนื่องจากมีระบบปฏิบัติการ OS Linux ทำงานแทนอยู่แล้วในการติดต่อกับระบบต่าง ๆ เช่น ระบบ Network ระบบจอภาพ ระบบเสียง หรือการติดต่อกับระบบข้อมูลผ่านทาง SD card ซึ่งระบบปฏิบัติการ Linux มีความสามารถในการทำงานได้ครบและครอบคลุมภายในตัวของ Raspberry pi

2.2.2.1 Raspberry pi 3

ส่วนประกอบและคุณสมบัติของ Raspberry pi 3 มีดังนี้

1. ชิพ BCM2837B
2. หน่วยประมวลผลกลาง หรือ ซีพียู (CPU) ARM Cortex-A53
3. หน่วยประมวลผลกราฟิกที่รองรับการแสดงผลผ่านหน้าจอ HDMI
4. หน่วยความจำ SDRAM 1 GB LPDDR2
5. พอร์ต Ethernet 10/100 Wi-Fi 2.4 GHz 802.11n และ Bluetooth 4
6. จุดเชื่อมต่อ
 - 6.1) USB 2.0

6.2) จุดต่อพอร์ต A/V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 6.3) จุดต่อพอร์ต Input/Output (General Purpose Input/Output, GPIO) ึ่งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 6.4) ช่องเสียบ Micro SD card ที่ได้รับการติดตั้งระบบปฏิบัติการแล้ว
- 6.5) จุดต่อ CSI สำหรับต่อโมดูลกล้อง Raspberry pi
- 6.6) จุดต่อ DSI สำหรับหน้าจอแสดงผล LCD
- 6.7) จุดต่อไฟเลี้ยง +5V ผ่าน Micro USB

7. ไฟเลี้ยง +5V, 2.5A เป็นอย่างน้อย

2.2.2.2 การใช้งาน Raspberry pi เบื้องต้น

1. ระบบปฏิบัติการของ Raspberry pi

การใช้งานจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบปฏิบัติการให้กับ Raspberry pi ก่อน โดยสามารถทำการติดตั้งระบบปฏิบัติการลงใน Micro SD card แล้วจึงนำมาติดตั้งที่ Raspberry pi เป็นลำดับถัดไป

2. อุปกรณ์และเครื่องมือ ประกอบด้วย

- 2.1) บอร์ด Raspberry pi
- 2.2) Micro SD card ในการใช้ติดตั้งระบบปฏิบัติการ และเก็บข้อมูลต่างๆ
- 2.3) Adapter +5V, 2.5A ขึ้นไป
- 2.4) สาย HDMI ใช้ในการต่อจอภาพแสดงผล
- 2.5) คีย์บอร์ด และเมาส์สำหรับควบคุมการทำงานของบอร์ด Raspberry pi
- 2.6) สาย LAN ใช้ในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต แต่อย่างไรก็ตาม Raspberry pi มีอุปกรณ์ที่ทำให้การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตสามารถทำได้ในรูปแบบไร้สาย
- 2.7) สาย AV ใช้ในการเชื่อมต่อสัญญาณเสียงช่องซ้ายหรือขวา และสัญญาณวิดีโอ
- 2.8) ลำโพงขยายเสียงที่มีจุดสัญญาณอินพุตเป็นช่องเสียบ RCA หรือหูฟังสเตอริโอ ในการต่อกับช่องเสียบ AV

3. การทดสอบการใช้งานเบื้องต้น

3.1) เริ่มต้นทำการติดตั้งระบบปฏิบัติการจาก Micro SD card ให้กับบอร์ด Raspberry pi หลังจากนั้นจึงเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับบอร์ดเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงาน ยกตัวอย่างเช่น

คีย์บอร์ด เมาส์ จอภาพ และเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟเข้าที่ตัวบอร์ด เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2) เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงเข้ากับบอร์ด Raspberry pi จะเริ่มทำงานและเข้าสู่ระบบปฏิบัติการ

2.3 การเพิ่มความเร็การทำงานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

2.3.1 หัวฉีด (Extruder)

เพื่อให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติสามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนรูปแบบของหัวฉีด (Extruder) เพื่อให้หัวฉีดทำหน้าที่ในการหลอมและฉีดฟิลาเมนต์ที่รวดเร็วเพิ่มขึ้น และทำงานได้พร้อมกันกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องพิมพ์

ดังนั้น หัวฉีด (Extruder) เดิมที่ใช้เป็นประเภท Single drive extruder ซึ่งสามารถฉีดฟิลาเมนต์ออกมาได้ช้า จะต้องถูกเปลี่ยนเป็นหัวฉีดประเภท Dual drive extruder ซึ่งสามารถฉีดฟิลาเมนต์ที่รวดเร็วกว่า เนื่องจาก Dual drive extruder ใช้ระบบ 2 เฟืองในการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.4 ความแตกต่างของหัวฉีดประเภท Single Drive Extruder และ Dual Drive Extruder ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และใช้อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

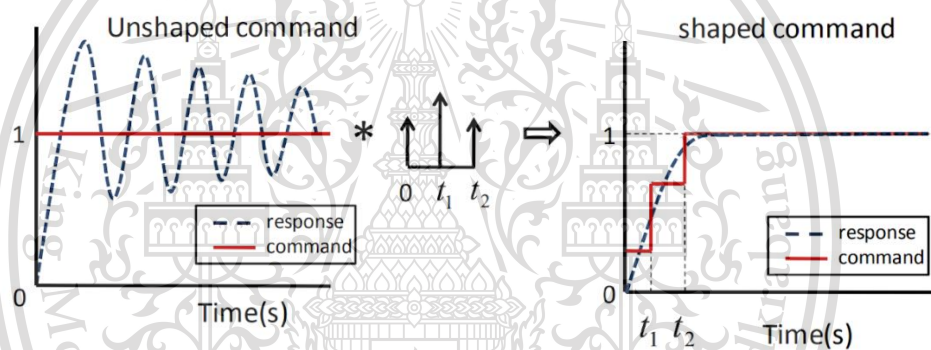
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.2 การปรับเปลี่ยนลักษณะสัญญาณอ้างอิง (Input shaping)

เมื่อทำการเพิ่มความเร็วการทำงานให้กับเครื่องพิมพ์ 3 มิติจะทำให้เกิดการสั่นของเครื่องขึ้น เนื่องจากเกิดสัญญาณสั่งงานที่จ่ายไปให้กับเครื่องพิมพ์ถูกกระตุ้นด้วยความถี่เรโซแนนซ์ ดังนั้น จึงต้องมีการนำวิธีการปรับเปลี่ยนลักษณะสัญญาณอ้างอิง (Input shaping) เข้ามาแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการสั่นพ้อง

การปรับเปลี่ยนลักษณะสัญญาณอ้างอิง (Input shaping) หมายถึง วิธีการสร้างลำดับของอิมพัลส์โดยใช้หลักการอาศัยความถี่ธรรมชาติและอัตราส่วนความหน่วงของระบบ จึงต้องใช้ออกแบบอินพุตเชปเปอร์ (Input shaper) เพื่อหาลำดับค่าของอิมพัลส์และตำแหน่งของเวลาที่เหมาะสม ผลตอบสนองของระบบที่สั่งงานด้วยคำสั่งที่นำมาผสม (Convolution) ด้วยอินพุตเชปเปอร์ (Input shaper) จะได้ค่าผลตอบสนองที่มีความรุนแรงลดลง



รูปที่ 6 กระบวนการของเทคนิคอิมพุตเชปปีง

รูปที่ 2.5 กระบวนการปรับเปลี่ยนลักษณะสัญญาณอ้างอิง (Input shaping)

2.4 การสั่นก้อง (Ringing)

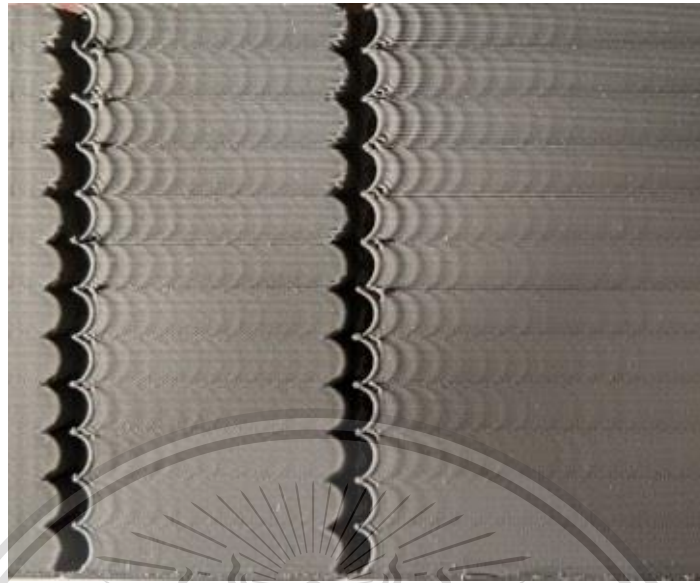
การสั่นก้อง (Ringing, Echoing หรือ Ghosting) คือตำหนิที่พื้นผิวของชิ้นงานที่พิมพ์ 3 มิติ มีลักษณะเป็นร่องรอยของขอบชิ้นงานเกิดซ้ำ ๆ ในบริเวณที่ต่อจากช่อง รู โคง หรือมุม เกิดขึ้นจากการสั่นพ้อง (Resonance) ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางหรือความเร็วในการพิมพ์แบบกะทันหัน โดยปกติจะเกิดเพียงเล็กน้อยและมักจะไม่ส่งผลต่อคุณภาพในการพิมพ์มากนักเว้นแต่ในด้านความสวยงาม แต่ก็สามารถทำให้การพิมพ์ชิ้นงานล้มเหลวได้หากพิมพ์ด้วยความเร็วสูง หรือในผู้ใช้ที่ต้องการความสมบูรณ์ของชิ้นงานสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.6 การสั่นก้อง



รูปที่ 2.7 การสั่นก้องบนชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดย King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang เมื่อขึ้นส่วนของเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่มีการสั่นก้องในการพิมพ์ 3 มิติที่มาจาก การสั่นสะเทือนทางกล เมื่อขึ้นส่วนของเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่มีการเปลี่ยนทิศทางหรือค่าความเร็วอย่างกะทันหัน ทำให้เกิดโมเมนต์ความเฉื่อยกระทำที่โครงไม่ว่ากรณีใดก็ตาม

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ทำให้ตัวเครื่องพิมพ์ 3 มิติเกิดการสั่นขึ้น โดยการสั่นจะมีความรุนแรงขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติ(Natural Frequency) ของตัวเครื่องพิมพ์ 3 มิติ และความสามารถในการกลับสู่จุดสมดุล (ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติจะมีผลต่อจำนวนคลื่นที่เกิด Ringing) ขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนความหน่วงของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Damping Ratio)

การรุนแรงของการสั่นก้องนอกจากเกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่แล้ว ยังมีเงื่อนไขเกี่ยวกับความแข็งเกร็ง (Rigidity) ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ และลักษณะการสั่งงานของการพิมพ์ด้วย การแก้ไขการสั่นก้องของเครื่องพิมพ์ 3 มิติจึงสามารถทำได้ตั้งแต่โดยการเพิ่มความแข็งเกร็งของระบบ เช่น การยึดเครื่องพิมพ์กับพื้นผิวที่แข็งเกร็ง เปลี่ยนสปริงและสายพานที่มีความยืดหยุ่นสูงออก การลดความถี่ด้วยการลดมวลของชิ้นส่วนที่ขยับได้ การลดความเร็วการพิมพ์ รวมไปถึงการปรับสัญญาณสั่งงานด้วยอินพุตเชปเปอร์ (Input Shaper)

2.5 Klipper



รูปที่ 2.8 Klipper

Klipper เป็นเฟิร์มแวร์ฟรีสำหรับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ที่มีความสามารถสูง และมีฟีเจอร์มากกว่าเฟิร์มแวร์ปกติของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยมักติดตั้งในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มี

ความสามารถเทียบเท่าคอมพิวเตอร์ อย่าง Raspberry Pi เพื่อช่วยเหลือนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เดิมของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Klipper ยังสนับสนุนระบบหลาย ๆ อย่างที่เป็นการปรับปรุงคุณภาพของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่อให้คุณภาพของการพิมพ์สูงขึ้น หรือเพิ่มความสะดวกในการใช้งานเครื่องพิมพ์ เช่น ระบบการจัดรูปสัญญาณเข้า (Input Shaping), การควบคุมเครื่องพิมพ์ที่ไม่มีโครคอนโทรลเลอร์หลายตัว, การทำงานร่วมกับโปรแกรม Octoprint เพื่อสั่งงานเครื่องพิมพ์ 3 มิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ เป็นต้น

2.6 OctoPrint



รูปที่ 2.9 OctoPrint

OctoPrint เป็นแอปพลิเคชันควบคุมเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบ Open Source ซึ่งมีเว็บไซต์สำหรับเครื่องพิมพ์ที่เชื่อมต่อ จะแสดงสถานะของเครื่องพิมพ์และพารามิเตอร์หลักและอนุญาตให้ผู้ใช้กำหนดเวลาพิมพ์และควบคุมเครื่องพิมพ์จากระยะไกล

2.6.1 คุณสมบัติและการทำงานของ OctoPrint

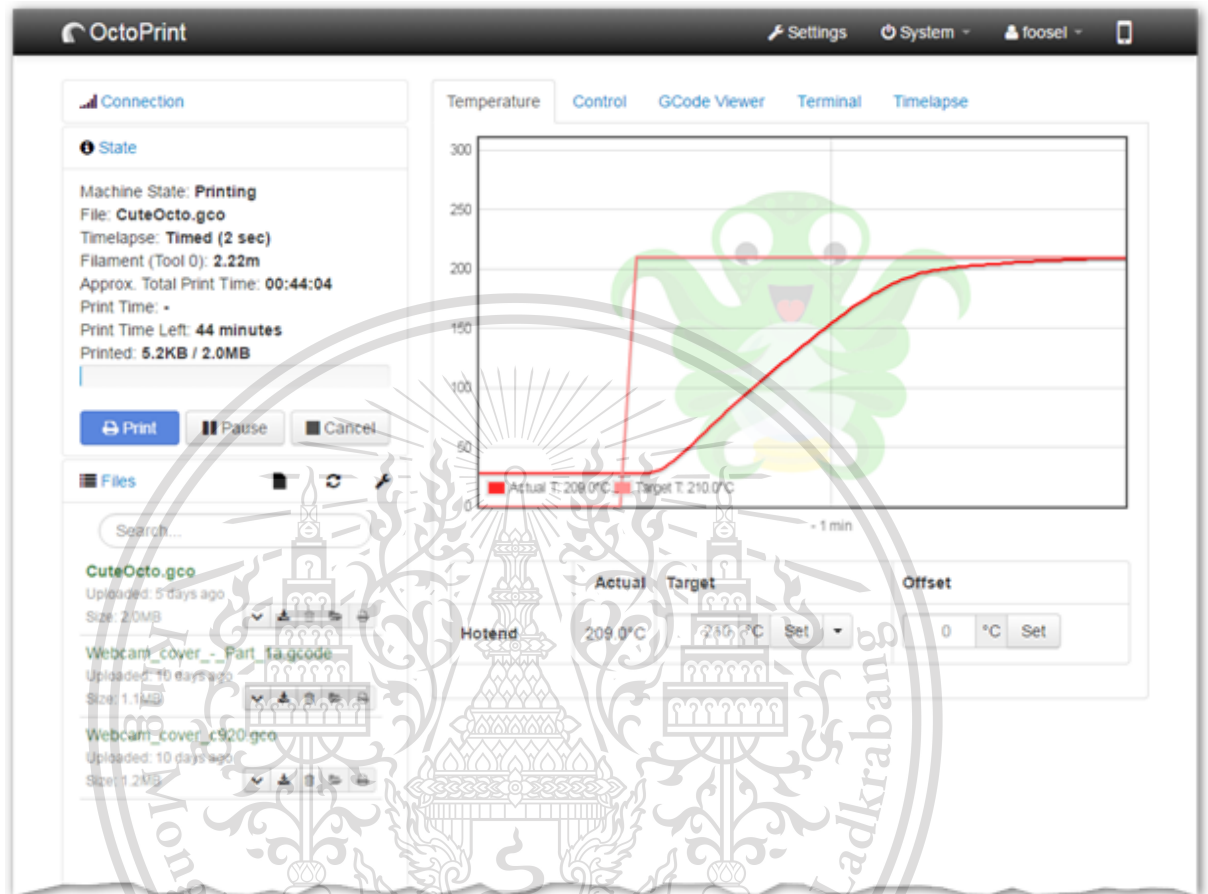
OctoPrint มีเว็บไซต์สำหรับควบคุมเครื่องพิมพ์ 3 มิติช่วยให้ผู้ใช้เริ่มงานพิมพ์โดยส่ง G-code ไปยังเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่เชื่อมต่อผ่าน USB OctoPrint จะตรวจสอบสถานะของงานพิมพ์ เช่นเดียวกับตัวเครื่องพิมพ์รวมถึงอุณหภูมิของหัวพิมพ์ (ปลายร้อน) และอุณหภูมิของฐานวางชิ้นงาน หากฐานวางชิ้นงานบนเครื่องพิมพ์ร้อน นอกจากนี้ OctoPrint ยังสามารถแสดงผลพัธของเว็บแคมที่เชื่อมต่อเพื่อตรวจสอบสถานะของการพิมพ์และสามารถแสดงภาพรหัส G ที่ซิงค์กับงานพิมพ์หรือแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 1. แสดงอุณหภูมิของหัวฉีดและฐานวางชิ้นงานในรูปแบบของกราฟ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในขณะที่ทำการพิมพ์ OctoPrint สามารถแสดงกราฟของอุณหภูมิขณะทำงานได้เพื่อผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบความเหมาะสมของอุณหภูมิขณะทำการพิมพ์ 3 มิติ นอกจากนี้ยังมีการแสดงสถานะของเครื่องพิมพ์ 3 มิติและสามารถหยุดหรือสั่งให้พิมพ์ต่อได้ด้วยการเลือกตั้งค่าที่หน้าเว็บไซต์



รูปที่ 2.10 หน้าเว็บไซต์แสดงกราฟอุณหภูมิของหัวฉีดและฐานวางชิ้นงาน

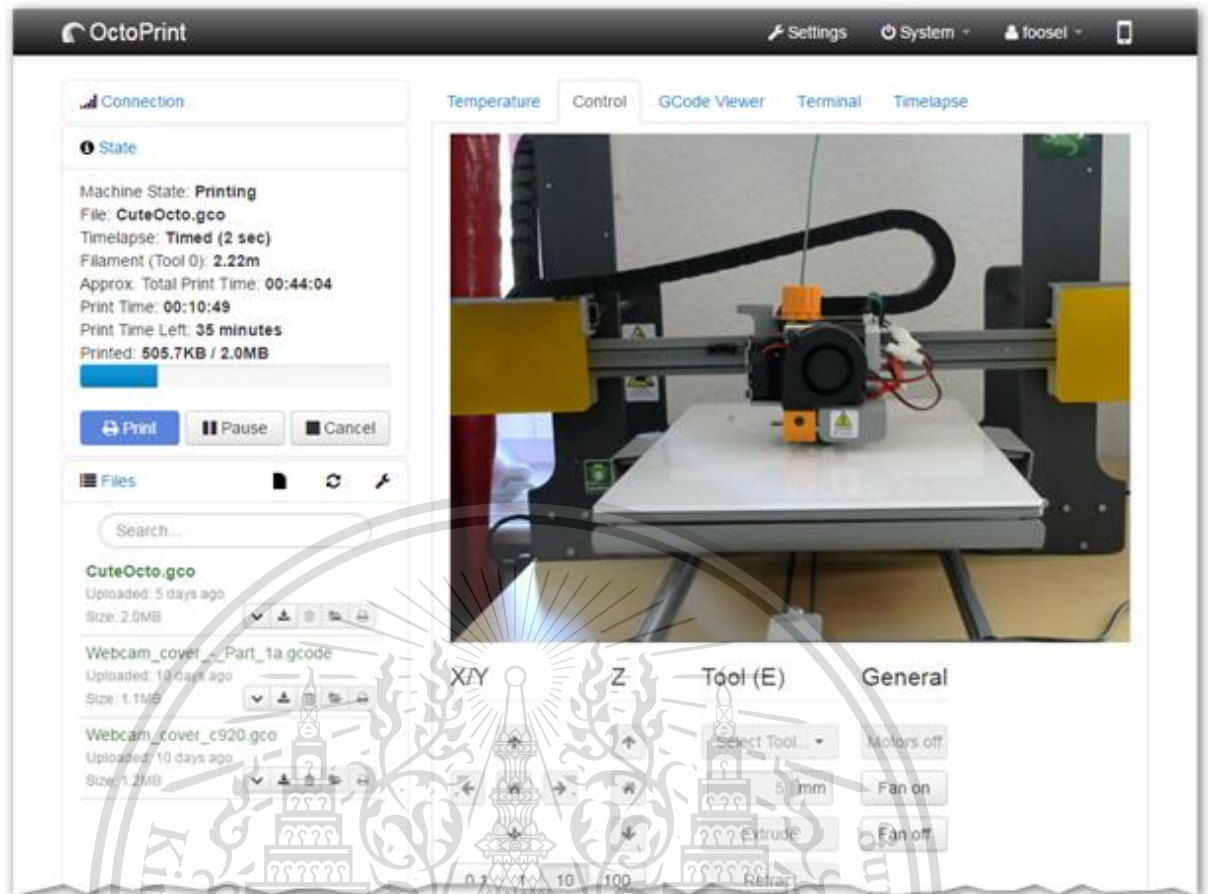
2. แสดงข้อมูลการพิมพ์และภาพขณะพิมพ์

OctoPrint สามารถติดตั้งกล้องเว็บแคมเพื่อใช้ในการจับภาพขณะเครื่องพิมพ์กำลังทำงานได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถสั่งให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ หยุดการทำงานหรือกลับไปทำงาน และสามารถปรับหัวฉีดให้เคลื่อนที่ไปตามแกน x, y, z ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.11 หน้าเว็บไซต์แสดงข้อมูลการพิมพ์และภาพขณะพิมพ์

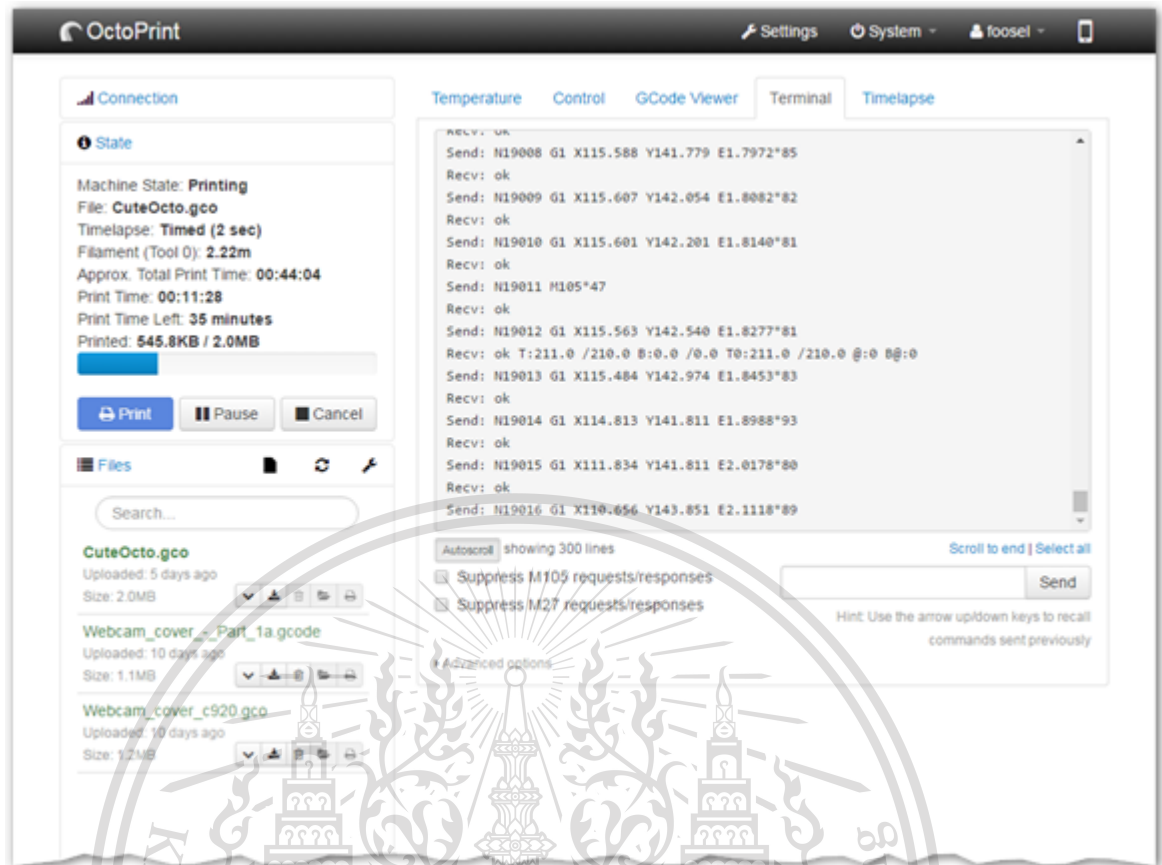
3. แสดง G-Code ที่กำลังสั่งพิมพ์

OctoPrint สามารถแสดง G-Code ที่ผู้ใช้งานกำลังสั่งงานให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติกำลังพิมพ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.12 หน้าเว็บไซต์แสดง G-Code ที่กำลังสั่งพิมพ์

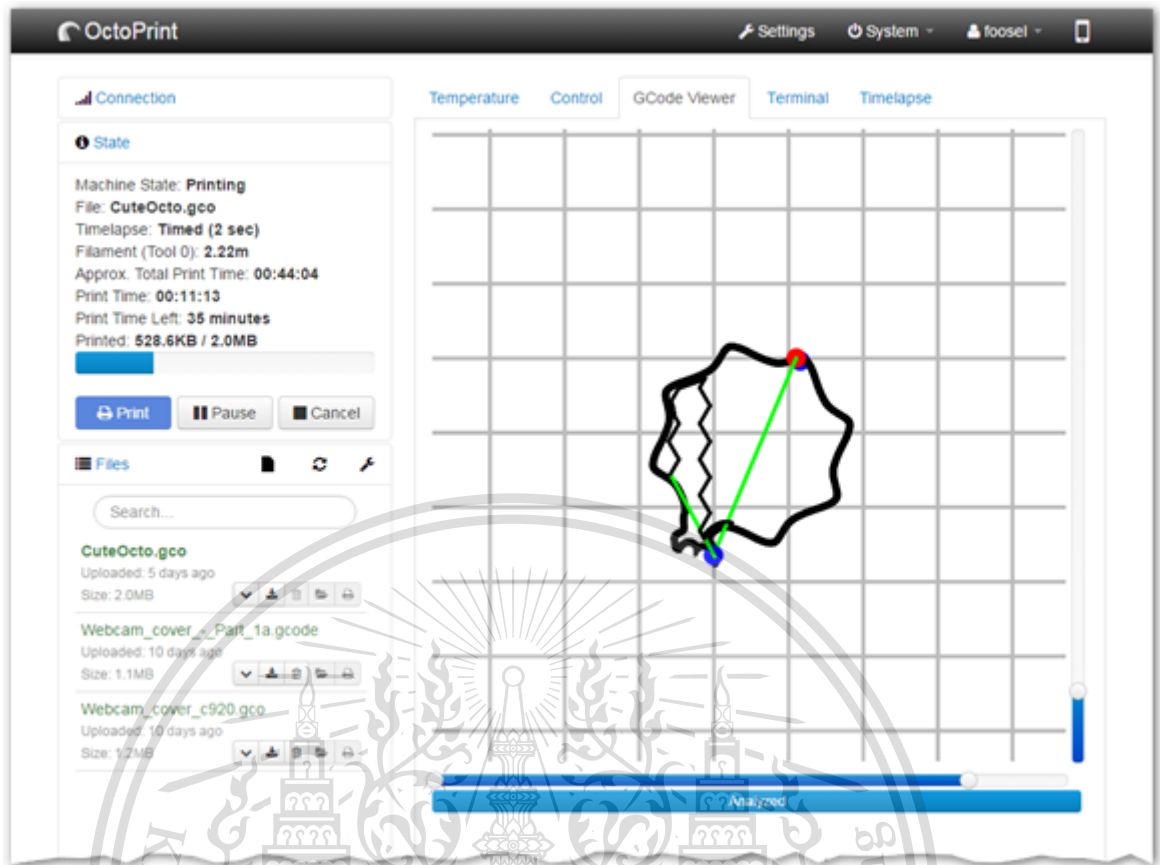
4. แสดงแบบจำลองการพิมพ์

แบบจำลองการพิมพ์เป็นอีกคุณสมบัติที่ OctoPrint สามารถแสดงให้เห็นให้ผู้ใช้งานตรวจสอบได้ ขณะที่เครื่องพิมพ์ 3 มิติกำลังทำงาน โดยแบบจำลองการพิมพ์จะแสดงออกมาเป็นส่วนชั้นต่างๆของ ชิ้นงานให้เห็นถึงความคืบหน้าของการพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.13 หน้าเว็บไซต์แสดงแบบจำลองการพิมพ์

2.7 G-code

G-Code ย่อมาจาก Geometric Code เป็นภาษาสำหรับการสั่งงานเครื่องจักรให้เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้คู่กับเครื่อง CNC (เครื่องจักรที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า Computer Numeric Control) ตัวเครื่องพิมพ์ 3D Printer ก็ถือว่าเป็นเครื่องจักร ซึ่งหัวพิมพ์จะทำการเคลื่อนที่ตามคำสั่ง G-Code

ตัวอย่าง G-code ที่ใช้งานสำหรับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

1. G0 หรือ Rapid Movement

เป็นคำสั่งที่ให้หัวพิมพ์เดินด้วยความเร็วสูงสุดที่เครื่องกำหนดมาใน Firmware ซึ่งถ้าเห็น G0 ก็หมายความว่า หัวพิมพ์จะไม่ทำการฉีดพลาสติก แต่จะทำการเคลื่อนหัวพิมพ์ไปยังจุดอื่น หรือจุดที่จะพิมพ์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. G1 หรือ Control Movement

คือการสั่งให้หัวพิมพ์เคลื่อนที่ โดยที่ผู้ใช้สามารถกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ โดยใส่ ค่า F แล้วตามด้วยความเร็วที่ต้องการ โดยที่ F จะต้องอยู่ด้านหลังพิกัด X Y Z ซึ่ง Code G1 นั้นจะใช้ในช่วงตอนที่หัวพิมพ์กำลังพิมพ์งาน หรือกำลังฉีดยาสติก

3. G17/G18/G19

เป็นคำสั่งสำหรับการ Set plane หรือระนาบในการฉีดยาน ซึ่งเครื่องพิมพ์ 3 มิติส่วนใหญ่ ระนาบที่อยู่ด้านล่างคือระนาบ X-Y ซึ่งก็คือคำสั่ง G17 ถ้าเป็น G18 ระนาบพื้นจะเป็น Z-X ส่วน G19 จะเป็น Y-Z สำหรับค่ามาตรฐานของ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ก็คือ G17

4. G20/G21

เป็นคำสั่งกำหนดหน่วยในการเดินให้กับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่ง G20 ก็คือหน่วยนิ้ว แต่ถ้า G21 จะเป็นหน่วย มิล ค่าปกติที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ก็คือ G21 หรือหน่วยมิล

5. G28

เป็นคำสั่งให้หัวพิมพ์กลับเข้าสู่ตำแหน่งเริ่มต้น ซึ่งคำสั่งนี้ หัวพิมพ์จะวิ่งไปชนกับ Limit Switch ซึ่งสวิตซ์ตัวนี้เป็นตัวกำหนดว่าตรงนี้เป็นจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่หัวพิมพ์จะวิ่งไปได้

6. M503

เป็นคำสั่งให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติตอบกลับค่าการตั้งค่าต่าง ๆ ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

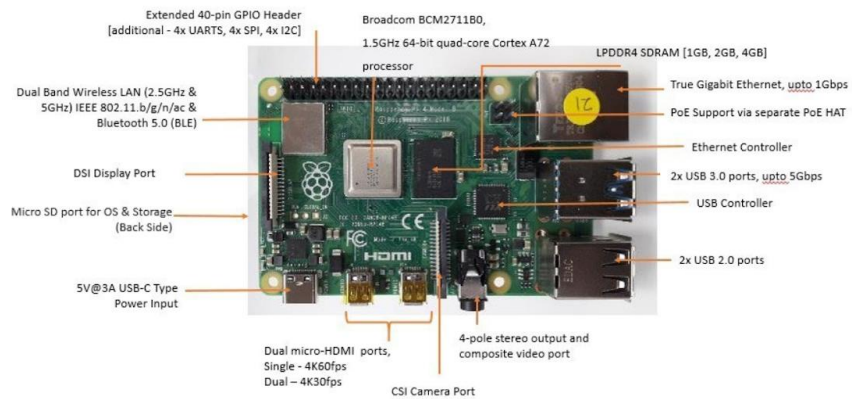
2.8 Raspberry Pi 4 Model B

Raspberry Pi 4 Model B เป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของคอมพิวเตอร์ Raspberry pi รุ่นล่าสุด ซึ่งมีการเพิ่มประสิทธิภาพของความเร็วโปรเซสเซอร์และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของมัลติมีเดีย นอกจากนี้หน่วยความจำก็ได้รับการพัฒนาให้มีความจุมากขึ้น และได้รับการปรับปรุงการเชื่อมต่อจากรุ่นก่อนหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของ Raspberry Pi 4 Model B

2.8.1 คุณสมบัติและข้อมูลจำเพาะ

1. โพรเซสเซอร์แบบ 4 คอร์ รุ่น 64 บิต ทำงานที่ความเร็ว 1.5 Ghz
2. การแสดงผลหน้าจอมีความคมชัดสูงสุด 4K ที่อัตรา 60 fps
3. RAM สูงสุด 4 GB
4. LAN ไร้สายรองรับคลื่น 2.4/5.0 Ghz
5. Bluetooth 5.0/BLE
6. เครือข่าย True Gigabit Ethernet
7. USB 3.0
8. เทคโนโลยี PoE
9. 2 x USB 3.0 ports, 2 x USB 2.0 PortsBroadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz
10. 8GB LPDDR4 SDRAM
11. 4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 5.0, BLE
12. True Gigabit Ethernet
13. Requires 5.1V, 3A power via USB-C or GPIO
14. Fully backwards compatible 40-pin GPIO header
15. 2 x micro HDMI ports supporting up to 4K 60Hz video resolution
16. 2-lane MIPI DSI/CSI ports for camera and display
17. 4-pole stereo audio and composite video port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

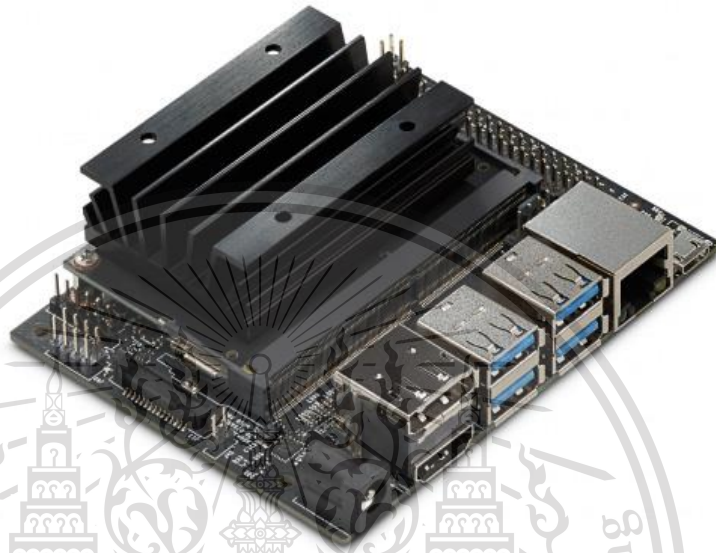
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม กรุณาแจ้งให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 18. MicroSD card slot for loading operating system and data storage
- 19. PoE (Power over Ethernet) enabled (requires PoE HAT)

2.9 NVIDIA Jetson nano development kit



รูปที่ 2.15 NVIDIA Jetson nano development kit

NVIDIA Jetson nano development kit คือ ชุดบอร์ดเครื่องมือสำหรับการพัฒนา ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence, AI) และ Machine learning โดย NVIDIA Jetson nano development kit มีการทำงานที่มีความสามารถเทียบเท่ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก และมีความสามารถในการประมวลผลภาพสูงใช้การประมวลผลผ่าน GPU ดังนั้น จึงเหมาะกับการทำงาน ประเภท Image classification, Object detection และ Speech processing

2.9.1 คุณสมบัติและข้อมูลจำเพาะ

a. โมดูล CPU Jetson Nano

a.1 Maxwell GPU แบบ 128 คอร์

a.2 โพรเซสเซอร์ Quad-core Arm A57 1,43 GHz

a.3 หน่วยความจำระบบ - 4GB 64-bit LPDDR4 @ 25.6 GB / s

a.4 ที่เก็บข้อมูล: 16GB eMMC (การผลิต) microSD (devkit) หรือช่องเสียบการ์ดแฟลช

a.5 การเข้ารหัสวิดีโอ - 4K @ 30 | 4x 1080p @ 30 | 9x 720p @ 30 (H.264 / H.265)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์เป็นของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

a.6 การถอดรหัสวิดีโอ - 4K @ 60 | 2x 4K @ 30 | 8x 1080p @ 30 | 18x 720p @ 30 (H.264 / H.265)

a.7 ขนาด - 70 x 45 มม.

b. ฐาน

b.1 ขั้วต่อ SO-DIMM 260 พินสำหรับโมดูล Jetson Nano

b.2 เอาต์พุตวิดีโอ - HDMI 2.0 และ eDP 1.4 (วิดีโอเท่านั้น)

b.3 การเชื่อมต่อ - Gigabit Ethernet (RJ45) + 4-pin PoE header

b.4 USB: พอร์ต USB 4 3.0x, พอร์ต USB 1 Micro-B 2.0x สำหรับโหมดพลังงานหรืออุปกรณ์

b.5 กล้อง I / F - 1x MIPI CSI-2 DPHY รางที่เข้ากันได้กับ Leopard Imaging LI-IMX219-MIPI-FF-NANO และโมดูลกล้อง Raspberry Pi V2

b.6 การขยายตัว

b.6.1 M.2 Socket Key E (PCIe x1, USB 2.0, UART, I2S และ I2C) สำหรับการ์ดเครือข่ายไร้สาย

b.6.2 ส่วนหัวขยาย 40 พินพร้อมสัญญาณ GPIO, I2C, I2S, SPI, UART

b.6.3 ส่วนหัวของปุ่ม 8 พินพร้อมสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการเปิดระบบการรีเซ็ตและการกู้คืนที่บังคับ

b.7 อื่น ๆ - LED เพาเวอร์, หัวต่อพัดลม 4 พิน

b.8 แหล่งจ่ายไฟ: 5V / 4A ผ่านขั้วต่อกระบอกไฟหรือ 5V / 2A ผ่านพอร์ต micro USB การสนับสนุน PoE เสริม

b.9 ขนาด - 100 x 80 x 29 มม.

2.10 การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital image processing)

การประมวลผลภาพดิจิทัล เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลรูปที่เป็นสัญญาณอะนาล็อกให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้ในการประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้ และ ยังนำมาใช้ในการลดปัญหาของภาพเช่น ลดสัญญาณรบกวนภายในภาพ

ภาพ (image) คือ สัญญาณดิจิทัลใน 2 มิติ ครอบคลุมถึงสัญญาณวิดีโอ (video) หรือภาพเคลื่อนไหว ซึ่งจะเป็จุดของภาพนิ่งหลายๆภาพต่อกันไปตามเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.10.1 เทคนิคที่ใช้ในการประมวลผลภาพ

1. ปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement)

เป็นกระบวนการในการแปลงข้อมูลภาพตัวเลข เพื่อที่จะสร้างภาพที่เน้นรายละเอียดที่ต้องการ หรือปรับพิสัยของโทนแสงที่ต้องการของภาพ เมื่อ เปรียบเทียบกับข้อมูลหรือรายละเอียดอื่นๆ ของภาพ

2. การกรองภาพหรือการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ (Image Filters)

เป็นกระบวนการนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมา ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากภาพเริ่มต้น วัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพคือการเน้น (enhance) หรือลดทอน (attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพ เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

3. การซ้อนทับภาพ (Image Registration)

เป็นกระบวนการนำข้อมูลของสองภาพหรือมากกว่า มารวมกันเพื่อให้เกิดภาพใหม่ที่มีข้อมูลภาพสมบูรณ์มากขึ้น โดยภาพใหม่ที่ได้นี้ จะเป็นการรวมตัวกันของข้อมูลหรือรายละเอียดในแต่ละภาพที่นำมาผสมกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดและข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการนำไปใช้

4. การคืนสภาพของภาพ (Image Restoration)

เป็นกระบวนการทำให้ภาพคืนสู่สภาพเดิมหรือการปรับปรุงภาพให้เหมาะสมกับการมองเห็น

5. การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation)

เป็นกระบวนการที่แบ่งส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพที่เราสนใจออกมาจากภาพที่เราต้องการ ซึ่งการแบ่งส่วนภาพนี้ ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นขั้นตอนเบื้องต้นและสำคัญอย่างมากของการประมวลผลภาพทางการแพทย์ เนื่องจากภาพทางการแพทย์ที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพแบบต่าง ๆ นั้น โดยปกติมักจะมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกับอวัยวะที่ทำถ่ายภาพมา เช่น เนื้อเยื่อ กระดูก อวัยวะข้างเคียง หรือแม้กระทั่งสัญญาณรบกวน (Noise) ที่ขึ้นในขณะที่ถ่ายภาพ ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์เฉพาะอวัยวะที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

6. การหาขอบภาพในวัตถุ (Image Segmentation and Edge Detection)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การหาขอบภาพ เราจะใช้หลักการหาความชันของความเข้มสี หรือ intensity เนื่องจากที่ขอบรูปจะเป็นบริเวณมีความแตกต่างของสีมาก ซึ่งหากเราหาความชันของค่า intensity ก็จะได้ความชันมาก

7. การบีบอัดภาพ (Image Compression)

7.1 การบีบอัดแบบไม่มีการสูญเสียรายละเอียดข้อมูล (Lossless compression)

วิธีการนี้ค่าความสว่างของแต่ละจุดภาพจะยังคงอยู่เหมือนเดิมทุกประการ หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของแต่ละจุดภาพ ซึ่งการบีบอัดวิธีนี้จะอาศัยเทคนิคการจัดเก็บข้อมูลเชิงเลขในการลดขนาดของข้อมูล

7.2 การบีบอัดแบบสูญเสียรายละเอียดข้อมูล (Lossy compression)

วิธีการนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของจุดภาพนั้นหมายความว่า วิธีการนี้ไม่เหมาะสมสำหรับข้อมูลภาพที่ต้องการจำแนกข้อมูล (Classification)

2.11 The spaghetti detective



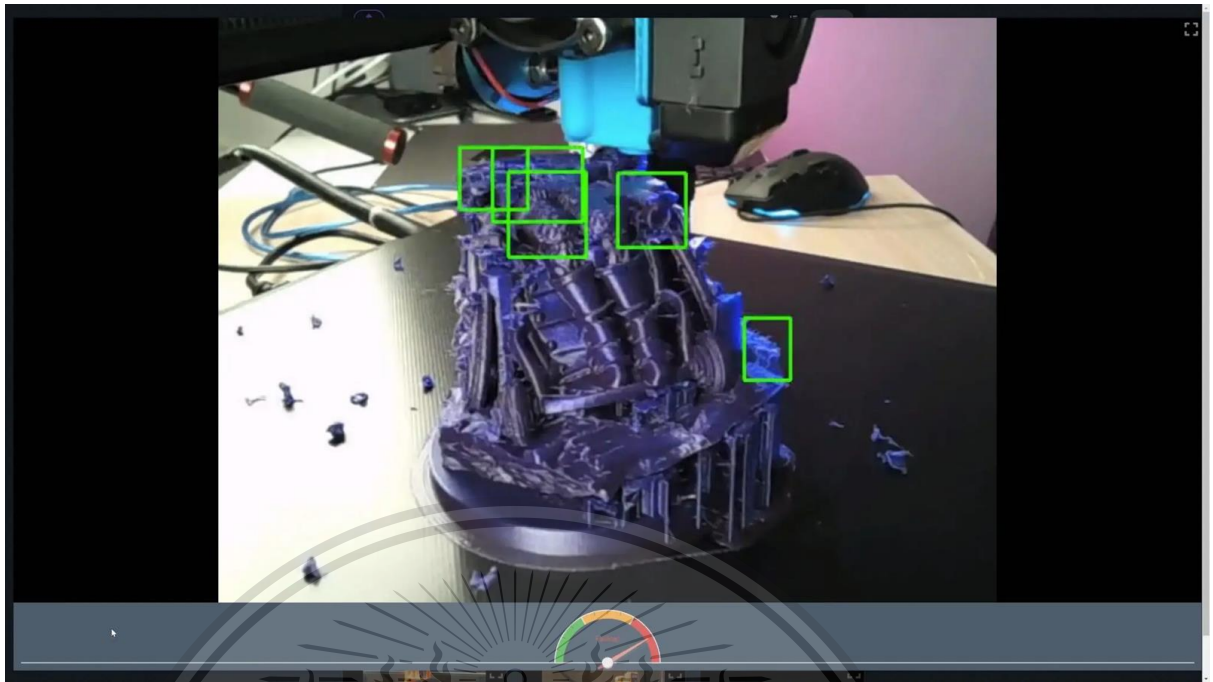
รูปที่ 2.16 The spaghetti detective

The spaghetti detective คือ ซอฟต์แวร์ AI แบบ Open Source ที่สามารถใช้ในการฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ให้ตรวจจับการเกิดความผิดพลาดขึ้นในขณะที่ทำการพิมพ์ โดย The spaghetti detective ใช้รับข้อผิดพลาดจากกล้องเว็บแคมที่ติดตั้งไว้ที่เครื่องพิมพ์ 3 มิติ เมื่อเครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีการทำงานที่ผิดพลาดหรือหัวฉีดมีการอุดตันเส้นพลาเมนที่ออกมาในลักษณะที่คล้ายกับเส้นสปาเกตตี้ ตามที่เคยได้รับการฝึกฝนมา หรืออุดตันออกมาเป็นเส้นที่อาจไปรบกวนขั้นตอนการพิมพ์ AI นี้จะทำการตรวจสอบและผู้ใช้งานจะได้รับการแจ้งเตือนหากเกิดความผิดพลาดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการตรวจสอบของ The spaghetti detective เมื่อเกิดความผิดพลาดในกระบวนการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

2.12 3DBenchy

3D Benchy เป็นแบบทดสอบที่ออกแบบมาเพื่อทดสอบค่าความแม่นยำในด้านต่าง ๆ ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยประกอบด้วยรูปทรงเรขาคณิตที่ยากต่อการพิมพ์หลายประเภท แต่ละส่วนใช้ในการทดสอบคุณภาพแต่ละส่วนของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ แบบทดสอบ 3D Benchy นี้ได้รับความนิยมในการทดสอบเครื่องพิมพ์ 3 มิติเนื่องจากใช้ปริมาณฟิลลาเมนต์ที่น้อย พื้นที่ในการพิมพ์ที่ไม่สูง และใช้เวลาพิมพ์ต่ำ

โดยการทดสอบต่าง ๆ ของ 3D Benchy Test ได้แก่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 3D Benchy

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

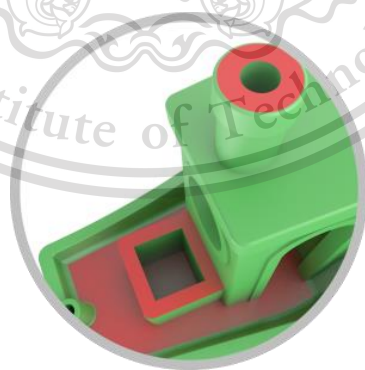
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1. ตัวเรือ - เป็นชิ้นส่วนโค้งที่ยื่นออกมาจากฐานขนาดใหญ่ เป็นผิวโค้งเรียบที่มีขนาดด้านบนใหญ่กว่าด้านล่าง และใช้ในการทดสอบการไหลของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ



รูปที่ 2.19 ตัวเรือของ 3DBenchy

2. ความสมมาตร - 3D Benchy เป็นชิ้นส่วนที่สมมาตรตามแกนยาว ทำให้ตรวจสอบเครื่องพิมพ์ที่มีการเคลื่อนที่เบี่ยงได้
3. ความละเอียด - ไฟล์ที่ใช้ทดสอบ 3DBenchy มีความละเอียดถึง 0.001 mm การพิมพ์ที่สมบูรณ์จึงจะต้องได้ชิ้นงานที่ผิวเรียบมาก
4. พื้นผิวเรียบแนวอน - พื้นที่คาดฟ้าเรือ ผิวบนของกล่องบนเรือ และพื้นผิวบนของปล่องไฟต้องเรียบ และขนานกัน และขนานกับพื้นล่างของเรือด้วย



รูปที่ 2.20 พื้นผิวเรียบแนวอนของ 3DBenchy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

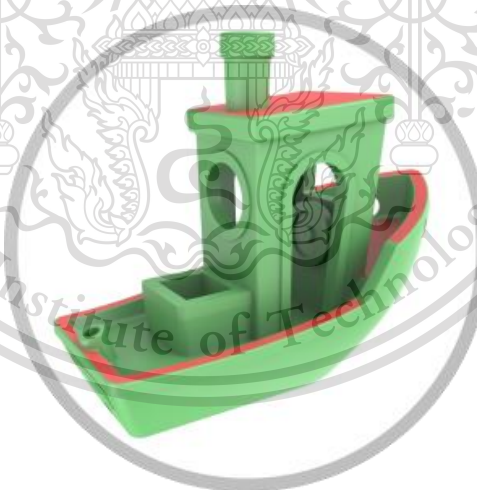
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. พื้นผิวห้อย (Overhang Surface) - คือพื้นผิวที่มีมวลแต่ไม่มีซัพพอร์ตรองรับ
3D Benchy มีทั้งแบบปกติ และแบบในจุดเข้าถึงเมื่อยากอย่างในตัวเรือด้วย



รูปที่ 2.21 พื้นผิวห้อยของ 3D Benchy

6. พื้นผิวความชันต่ำ – ทดสอบความสามารถด้านโครงสร้างเลเยอร์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
พื้นที่บริเวณหลังคาและกราบเรือจะไม่เรียบขนานกับพื้น แต่จะมีความชันน้อย ๆ



รูปที่ 2.22 พื้นผิวความชันต่ำของ 3DBenchy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

7. รายละเอียดขนาดเล็กที่ผิว - ทดสอบความละเอียดและความแม่นยำของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ด้วยการพิมพ์ตัวอักษรขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร บนแผ่นป้ายชื่อหนา 0.1 มิลลิเมตร บนพื้นผิวเอียง



รูปที่ 2.23 รายละเอียดขนาดเล็กที่ผิวใน 3DBenchy

8. รูปทรงกระบอก – ใช้ทดสอบความผิดพลาดของการวาดวงกลม โดยให้เครื่องพิมพ์วาดทรงกระบอกกลางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางนอกและในคงที่ และมีจุดศูนย์กลางเดียวกัน



รูปที่ 2.24 รูปทรงกระบอกใน 3DBenchy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

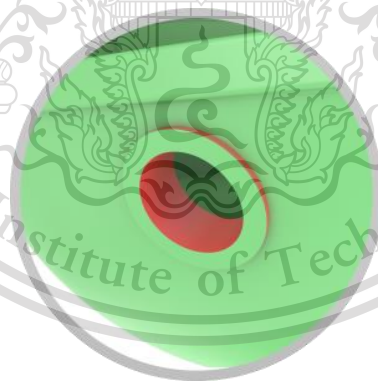
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

9. รูตามแนวราบขนาดใหญ่ – ประกอบด้วยหน้าต่างบานใหญ่ของตัวโถงเรือ และพวงมาลัยเรือ ที่อยู่ในจุดเข้าถึงเมื่อยก



รูปที่ 2.25 รูตามแนวราบขนาดใหญ่ ของ 3DBenchy

10. รูตามแนวราบขนาดเล็ก - ทดสอบการพิมพ์รูขนาดเล็กบนตัวเรือที่มีความหนาหน้าแปลน น้อยมาก



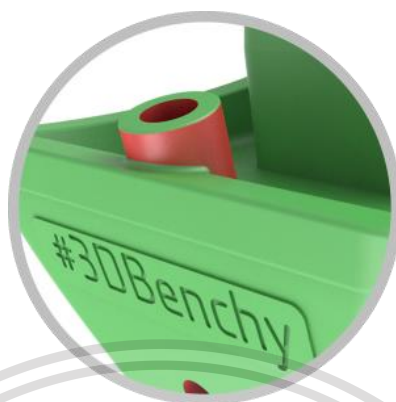
รูปที่ 2.26 รูตามแนวราบขนาดเล็ก ของ 3DBenchy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

11. รูเอียงขนาดเล็ก - ทดสอบพิมพ์ ฟรุตันที่มีความเอียงเล็กน้อย



รูปที่ 2.27 รูเอียงขนาดเล็ก ของ 3DBenchy

12. รายละเอียดบนเลเยอร์แรก – ตัวอักษรบาง ๆ บริเวณใต้เรือแสดงให้เห็นถึงการกอดอัดของฟิลาเมนต์ในการพิมพ์ 3 มิติ



รูปที่ 2.28 รายละเอียดบนเลเยอร์แรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

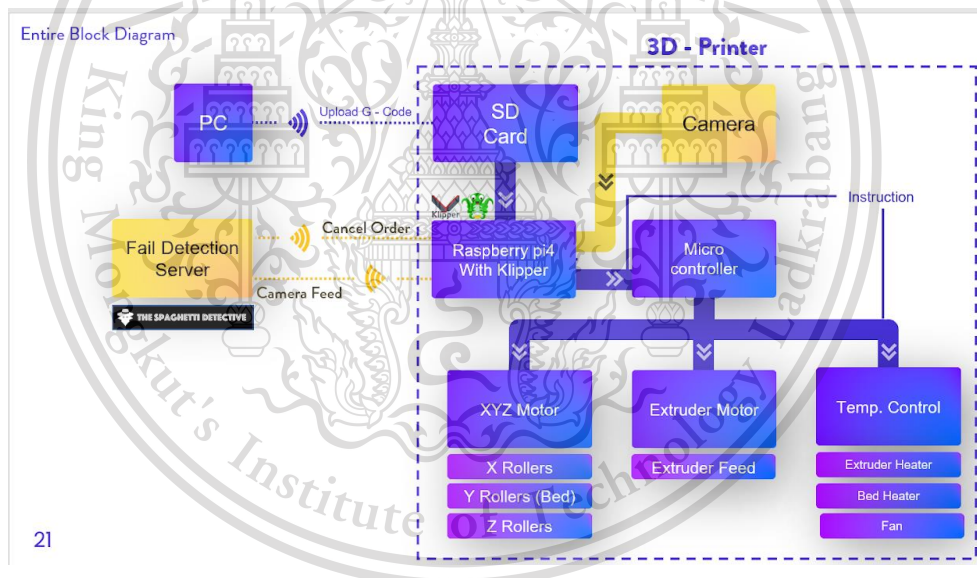
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญาบัตร

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบการดำเนินงานโดยภาพรวม

การเพิ่มความเร็วการทำงาน และระบบสั่งงานออนไลน์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีการติดตั้งซอฟต์แวร์เพื่อการสั่งพิมพ์ออนไลน์และตรวจสอบความผิดพลาดขณะพิมพ์ นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มความเร็วในการพิมพ์ให้กับเครื่องพิมพ์ 3 มิติอีกด้วย โดยบล็อกไดอะแกรมของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1 และขั้นตอนการดำเนินงานแสดงดังรูปที่ 3.2

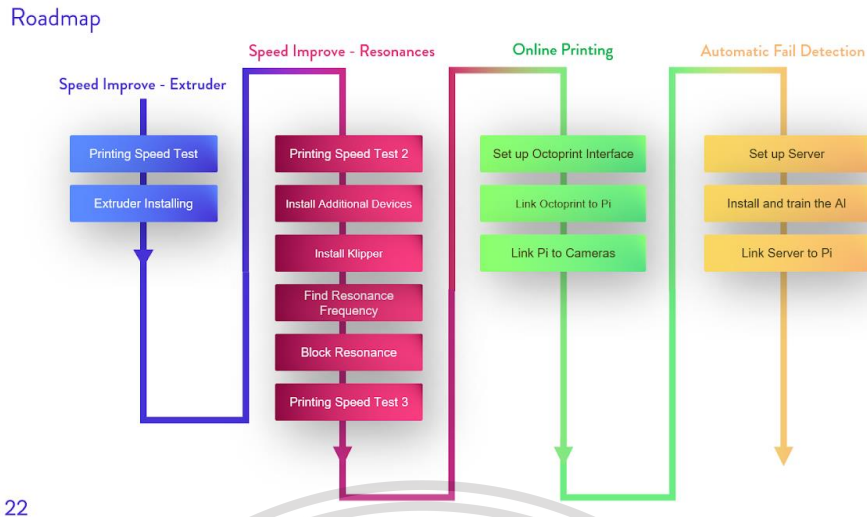


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



22

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.2 การเพิ่มความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

1. เปลี่ยนหัวฉีดจากระบบ Single drive extruder เป็นระบบ Dual drive extruder เพื่อเพิ่มความเร็วในการฉีดฟิลาเมนต์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
2. ทำการทดสอบขีดจำกัดความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

3.1.3 การแก้ไขปัญหาในการพิมพ์ที่เกิดจากรีโซแนนซ์

1. ทำการทดสอบหาความถี่เรโซแนนซ์และความเร็วสูงสุดที่ทำได้โดยไม่เกิดความถี่เรโซแนนซ์ โดยการสั่งให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติพิมพ์ชิ้นงานชิ้นหนึ่งที่มีปัจจัยเสี่ยงในการเกิดเรโซแนนซ์สูง
2. ติดตั้ง raspberry pi เข้ากับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
3. ดาวน์โหลดและติดตั้ง Klipper ลงใน Micro SD card เพื่อไปเชื่อมต่อและติดตั้งลงบน Raspberry pi
4. หาค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน
5. ทำอินพุตเซปเปอร์ ที่ทำให้เกิดการสั่นของเครื่องพิมพ์ 3 มิติลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. ทำการทดสอบหาความถี่เรโซแนนซ์อีกครั้ง โดยการเลือกพิมพ์ชิ้นงานที่มีปัจจัยเสี่ยงในการเกิดเรโซแนนซ์สูง เพื่อตรวจสอบว่าเกิดความถี่เรโซแนนซ์ขึ้นขณะพิมพ์ชิ้นงานอยู่หรือไม่

3.1.4 ระบบสั่งงานออนไลน์

1. ดาวนโหลดและติดตั้ง OctoPrint ลงใน Micro SD card เพื่อไปเชื่อมต่อและติดตั้งลงบน Raspberry pi
2. ติดตั้ง OctoPrint ลงบน Raspberry pi หลังจากนั้นตั้งค่าต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน
3. ติดตั้งกล้อง Webcam และเชื่อมต่อเข้ากับ Raspberry pi เพื่อใช้ในการติดตามสถานะการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติขณะทำการพิมพ์ชิ้นงาน

3.1.5 การตรวจสอบความผิดพลาดของการพิมพ์อัตโนมัติ

1. ดาวนโหลดและติดตั้ง The spaghetti detective ลงใน Micro SD card เพื่อไปเชื่อมต่อและติดตั้งลงบน NVIDIA Jetson nano development kit
2. ติดตั้ง The spaghetti detective ลงบน NVIDIA Jetson nano development kit
3. ทำการฝึก (Train) AI The spaghetti detective เพื่อให้ตรวจสอบความผิดพลาดในการพิมพ์ โดยป้อนข้อมูลวิดีโอการพิมพ์ที่ผิดพลาดจากอินเทอร์เน็ต
4. เชื่อมต่อบอร์ด NVIDIA Jetson nano development kit เข้ากับบอร์ด Raspberry pi ผ่านสัญญาณ internet
5. ติดตั้งกล้อง Webcam เชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด Raspberry Pi ใช้เป็นอุปกรณ์ในการรับภาพขณะพิมพ์เพื่อส่งต่อไป NVIDIA Jetson nano development kit ให้วิเคราะห์ความผิดพลาดผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ต

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Ender 3

เครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Ender 3 เป็นเครื่องที่ต้องการใช้เป็นต้นแบบในโครงการการเพิ่ม

ความเร็วการทำงาน และระบบสั่งงานออนไลน์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Ender 3

3.2.2 Raspberry pi 4 Model B

บอร์ด Raspberry pi 4 Model B เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมและสั่งการเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ทำหน้าที่ประมวลผล Input Shaping และเชื่อมอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.4 Raspberry pi 4 Model B

3.2.3 NVIDIA Jetson nano development kit

NVIDIA Jetson nano development kit เป็นบอร์ดที่ใช้ในการประมวลผลภาพในการวิเคราะห์ความผิดพลาดในการพิมพ์ โดยเป็นเซิร์ฟเวอร์ให้กับ The spaghetti detective ซึ่งเป็น AI ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์
เทรนไว้ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดในการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.5 NVIDIA Jetson nano development kit

3.2.4 Webcam

กล้อง Webcam ใช้ในตรวจสอบสถานะการพิมพ์ของการสั่งงานออนไลน์ผ่าน OctoPrint และส่งพีดีวีโอเพื่อเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดในการพิมพ์โดยโปรแกรม The spaghetti detective โดยใช้เป็นอุปกรณ์ในการรับภาพเพื่อส่งต่อไปวิเคราะห์ในด้านต่าง ๆ ต่อไป



รูปที่ 3.6 Webcam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การทดสอบ Ringing Tower Test

ทำการทดสอบหาความถี่ Resonance และความเร็วสูงสุดที่ทำได้โดยไม่เกิดความถี่ Resonance โดยการสั่งให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติพิมพ์ชิ้นงานชิ้นหนึ่งที่มีปัจจัยเสี่ยงในการเกิดเรโซแนนซ์สูง โดยที่ความเร็วในการพิมพ์ ตั้งให้เริ่มต้นที่ 30 มิลลิเมตร/วินาที แล้วให้ความเร็วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นทีละ 10 มิลลิเมตร/วินาที ต่อ 25 เลเยอร์

1. ทดสอบการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่แบบหักมุมฉาก
2. ทดสอบการพิมพ์ช่องว่างแคบ ๆ (Small Gap)
3. ทดสอบการพิมพ์ส่วนโค้งที่มีความโค้งน้อย โดยมีทั้งในแกน X และ แกน Y

3.3.2 การทดสอบขีดจำกัดความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

ทำการทดสอบโดยให้พิมพ์ชิ้นงาน Ringing Tower อีกครั้งโดยปรับค่าความเร็วของการพิมพ์ ทุก ๆ 2 layer และจับเวลาในการพิมพ์แต่ละ layer เอาไว้

3.3.3 การหาสาเหตุของขีดจำกัดความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

ทำการทดสอบเพื่อหาเหตุผลที่ทำให้เกิดเรโซแนนซ์หรือ Ringing ขึ้นกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

1. ทดสอบความเร็วการเดินทางเป็นเส้นตรงของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
2. ทดสอบความเร็วการพิมพ์เป็นเส้นตรงของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
3. ตรวจสอบการตั้งค่าของตัวเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

3.3.4 การทดสอบพิมพ์ Bumpy Lumpy Vase

ทำการทดสอบขีดจำกัดของการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

3.3.5 การทดสอบ 3DBenchy Test

ทำการทดสอบประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยการพิมพ์ในความเร็วต่าง

ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดสอบ Ringing Tower Test

เป็นการทดสอบหาความถี่ Resonance และความเร็วสูงสุดที่ทำได้โดยไม่เกิดความถี่ Resonance โดยการสั่งให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติพิมพ์ชิ้นงานชิ้นหนึ่งที่มีปัจจัยเสี่ยงในการเกิดเรโซแนนซ์สูง เช่น การเปลี่ยนทิศทางทางการเคลื่อนที่แบบหักมุมฉาก การพิมพ์ช่องว่างแคบ ๆ (Small Gap) รวมไปถึง โค้งที่มีส่วนโค้งน้อย โดยมีทั้งในแกน X และ แกน Y



รูปที่ 4.1 Ringing Tower

โดยทำการตั้งค่าต่าง ๆ ในโปรแกรม Slicer ดังนี้

- ความสูงเลเยอร์ (Layer Height) 0.2 มิลลิเมตร
- เปอร์เซนต์เนื้อชิ้นงาน (Infill) 0%
- ความหนาขอบชิ้นงาน 1 เส้น
- ความหนาฐานชิ้นงาน 5 เส้น
- ความเร็วขั้นต่ำของการพิมพ์แต่ละชั้น 3 วินาที
- ความเร่งการพิมพ์ ตั้งให้มีค่าคงที่
- ความเร็วในการพิมพ์ ตั้งให้เริ่มต้นที่ 30 มิลลิเมตร/วินาที แล้วให้ความเร็วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ทางออนไลน์โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.2 ความเร็วการพิมพ์ของแต่ละชั้นใน Ringing Tower

หมายเหตุ ในการตั้งค่าความเร็วในโปรแกรม Slicer อย่าง Cura Maker การตั้งค่าความเร็วการพิมพ์ (Printing Speed) ครั้งหนึ่ง โปรแกรม Slicer จะไม่ได้ตั้งค่าความเร็วในทุกส่วนเท่า ๆ กัน เช่น Infill Speed จะมีค่าเท่ากับ Printing Speed แต่ Wall Speed หรือ Base Speed มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของ Printing Speed เนื่องจากตัวชิ้นงาน Ringing Tower ไม่มี Infill ค่าความเร็วในการพิมพ์ในการทดลองนี้ จึงพูดถึง Wall Speed เป็นหลัก การตั้งค่าในหัวข้อนี้ จึงตั้งค่าความเร็วการพิมพ์เป็น 2 เท่าของความเร็วที่ระบุไว้ในข้างต้น ดังระบุในตารางนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 ความเร็วการพิมพ์และความเร็วขอบในการทดสอบ Ringing Tower

No.	Layers	Printing Speed (mm/s)	Outer Shell Printing Speed (mm/s)
0	0 – 25	60	30
1	26 – 50	60	30
2	51 – 75	70	35
3	76 – 100	80	40
4	100 – 125	90	45
5	126 – 150	100	50
6	151 – 175	110	55
7	176 – 200	120	60
8	201 – 225	130	65
9	226 – 250	140	70
10	251 – 275	150	75
11	276 – 299	160	80

ได้ผลว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจะเริ่มเกิดคลื่นจากการ Ringing ขึ้นจาง ๆ ที่ความเร็วประมาณ 60 mm/s แต่ไม่เกิดคลื่นชัดเจนมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วขึ้นอีก

4.2 การทดสอบขีดจำกัดความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

จากการทดลองในข้อ 4.1 ทำให้เกิดข้อสงสัยในความเร็วในการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่มากกว่า 60 mm/s จึงทำการทดสอบโดยให้พิมพ์ชิ้นงาน Ringing Tower อีกครั้งโดยปรับค่าความเร็วของการพิมพ์ทุก ๆ 2 layer และจับเวลาในการพิมพ์แต่ละ layer เอาไว้ ได้ผลตามตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 ความเร็วและเวลาที่ใช้ในการพิมพ์แต่ละชั้น

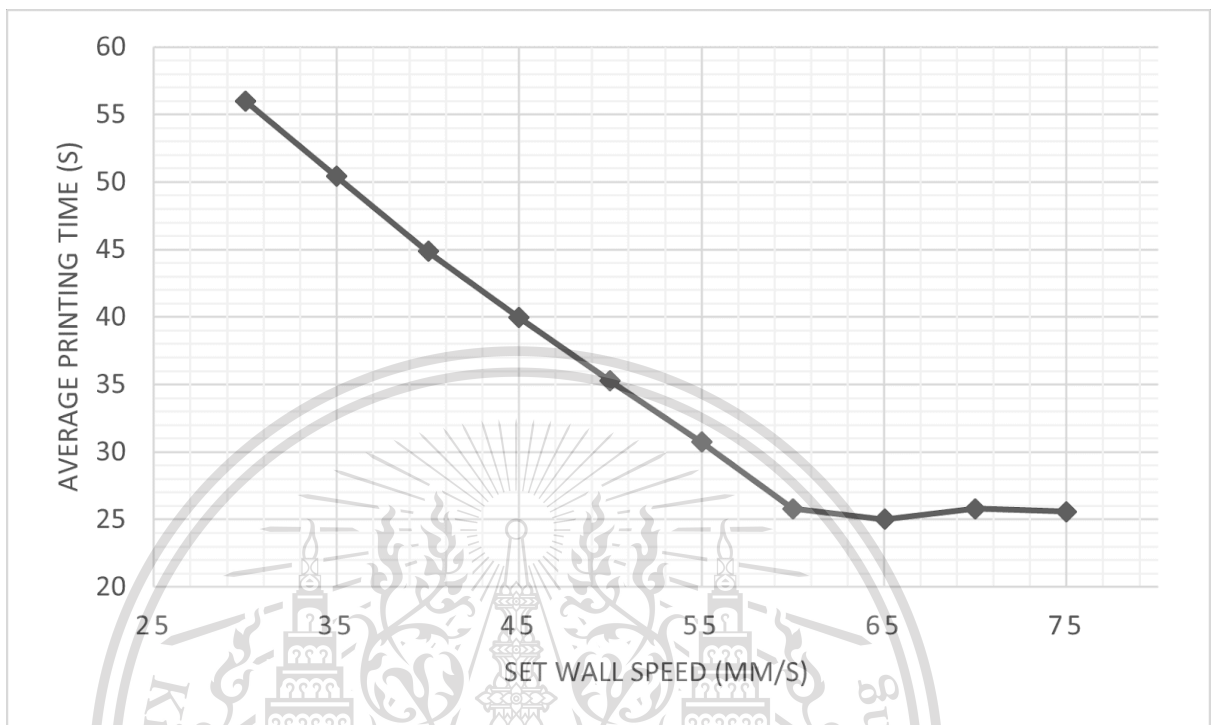
No.	Layers	Printing Speed (mm/s)	Outer Shell Printing Speed (mm/s)	Printing Time (s)
0	0-5	60	30	-
1	6	60	30	56.71
	7	60	30	55.26
2	8	70	35	51.22
	9	70	35	49.59
3	10	80	40	44.98
	11	80	40	44.75
4	12	90	45	39.41
	13	90	45	40.48
5	14	100	50	35.14
	15	100	50	35.36
6	16	110	55	30.68
	17	110	55	30.79
7	18	120	60	25.81
	19	120	60	25.75
8	20	130	65	25.05
	21	130	65	24.99
9	22	140	70	26.12
	23	140	70	25.48
10	24	150	75	25.69
	25	150	75	25.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ซึ่งสามารถนำค่าเฉลี่ยของเวลามาพล็อตเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการพิมพ์ชิ้นงานแต่ละชิ้นตามค่าความเร็วที่ตั้งไว้ต่างๆ

จะสังเกตได้ว่า การพิมพ์นั้นใช้เวลาต่ำลงตามค่าความเร็วที่ตั้ง แต่เมื่อถึงความเร็วที่ประมาณ 60 มิลลิเมตร/วินาที เวลากลับมีค่าคงที่ ไม่ลดต่ำลง จึงสรุปได้ว่าเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่นำมาทดลองสามารถพิมพ์ได้ด้วยความเร็วสูงสุด 60 มิลลิเมตร/วินาที

4.3 การหาสาเหตุของขีดจำกัดความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

จากการทดลองที่ 4.2 ได้ข้อสรุปว่ามีเหตุผลบางอย่างที่ทำให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ไม่สามารถทำงานได้จนถึงจุดที่ทำให้เกิดเรโซแนนซ์หรือ Ringing ได้ เราจึงเชื่อมต่อเครื่องพิมพ์ 3 มิติเข้ากับคอมพิวเตอร์ แล้วใช้โปรแกรม Print Run (Pronterface) เพื่อส่งคำสั่ง G-Code ให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.1 ทดสอบความเร็วการเดินทางเป็นเส้นตรงของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

ใช้คำสั่ง G0 สำหรับสั่งงานให้หัวเครื่องพิมพ์เคลื่อนที่ไปยังพิกัด X Y Z ที่ต้องการ โดยไม่มีการควบคุมมอเตอร์ Extruder ที่ควบคุมการดันเส้น Filament มีรูปแบบการสั่งงานเป็น

G0 F<feedrate> X<pos> Y<pos> Z<pos>

เมื่อ <feedrate> คือ ความเร็วสูงสุดในการเดินทาง ในหน่วย mm/min

<pos> คือ ตำแหน่งที่ปลายทางของหัวพิมพ์ในแกนต่างๆ

โดยให้วิ่งทีละแกน (ไม่รวมแกน Z) โดยให้วิ่งจากปลายด้านหนึ่งไปปลายอีกข้างหนึ่ง และเพิ่มความเร็วยิ่งไปเรื่อยๆ พร้อมกับจับเวลาไปด้วย ได้ผลว่าความเร็วมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามค่า Feedrate ที่เพิ่มขึ้น แม้ว่าจะมากกว่าค่า 120 mm/s (F7200) ไปแล้ว แต่เริ่มเกิดการสั่นอย่างรุนแรงได้ที่ความเร็ว 110 mm/s (F6600) ขึ้นไป

4.3.2 ทดสอบความเร็วการพิมพ์เป็นเส้นตรงของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

ใช้คำสั่ง G1 เพื่อเป็นการควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ทั้งที่ควบคุมการเคลื่อนที่ทั้งสามตัว และมอเตอร์ที่ควบคุม Extruder ที่ใช้ดันเส้น Filament มีรูปแบบการสั่งงานคือ

G1 E <pos> F<feedrate> X<pos> Y<pos> Z<pos>

เมื่อ <feedrate> คือ ความเร็วสูงสุดในการเดินทาง ในหน่วย mm/min

<pos> คือ ตำแหน่งที่ปลายทางของหัวพิมพ์ในแกนต่าง ๆ

และตำแหน่งของหัวดันฟิลาเมนต์ (Extruder)

โดยให้วิ่งทีละแกน (ไม่รวมแกน Z) โดยให้วิ่งจากปลายด้านหนึ่งไปปลายอีกข้างหนึ่ง และ

พิมพ์เส้นฟิลาเมนต์ไปด้วยความเร็วคงที่ โดยเพิ่มความเร็วยิ่งไปเรื่อยๆ พร้อมกับจับเวลาไปด้วย ได้ผลว่าความเร็วมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามค่า Feedrate ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่ามากกว่า 120 mm/s (F7200) ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกหนึ่งข้อควรระวังคือให้ระวังอุณหภูมิของหัวพิมพ์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ไปแล้ว ค่าความเร็วไม่เพิ่มขึ้นอีก

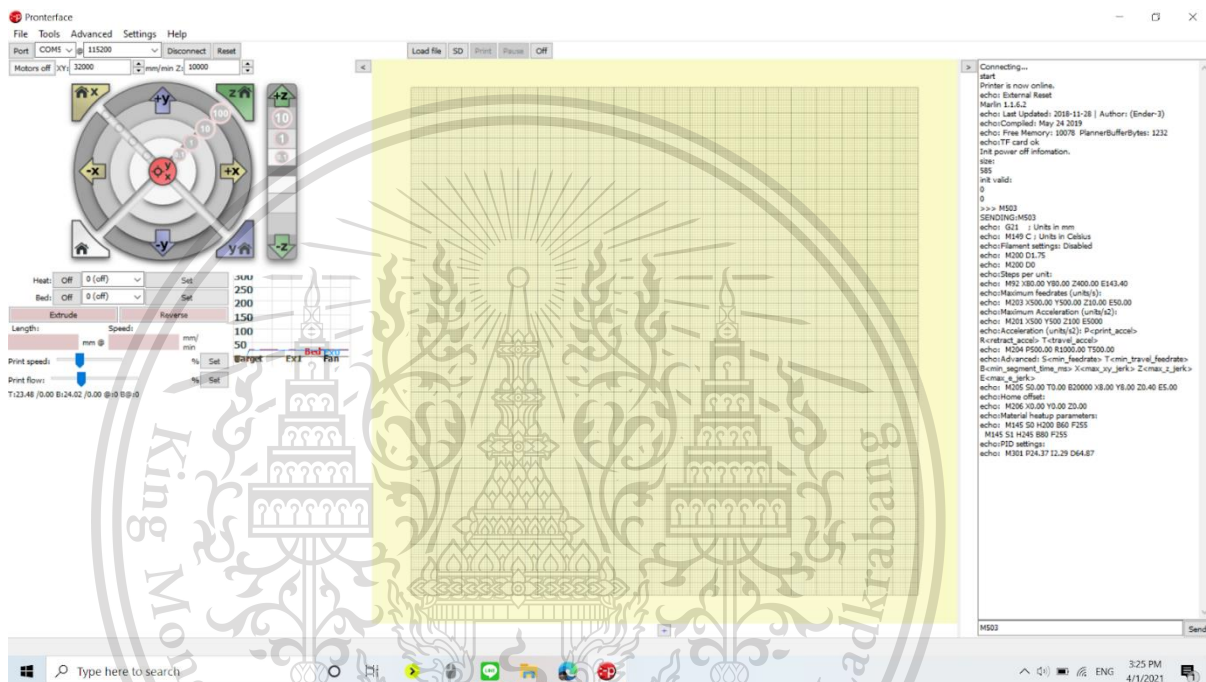
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการทดลองนี้ ทำให้ทราบว่าขีดจำกัดความเร็วของเครื่องพิมพ์ 3 มิติไม่ได้มาจากขีดจำกัดทางกลอย่างกำลังมอเตอร์ แต่มาจากสาเหตุอื่น

4.3.3 ตรวจสอบการตั้งค่าของตัวเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

ใช้คำสั่ง M503 ใน Pronterface เพื่อสั่งให้เครื่องพิมพ์ 3 มิติรายงานผลการตั้งค่าต่าง ๆ ของเครื่องออกมา ได้ออกมาดังนี้



รูปที่ 4.4 ผลตอบรับจากคำสั่ง M503 ผ่านโปรแกรม Prinrun

ได้ใช้การตั้งค่าที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- ความเร็วสูงสุด 500 มิลลิเมตร/วินาที
- ความเร่งสูงสุด 500 มิลลิเมตร/วินาทีกำลังสอง
- เจริ่งสูงสุด 8 มิลลิเมตร/วินาทีกำลังสาม

แม้ว่าเครื่องพิมพ์ 3 มิติเครื่องนี้จะมีความเร็วตั้งไว้สูงสุดได้ที่ 500 mm/s แต่ด้วยเจริญี่ค่าสูงสุดที่ 8 mm จึงไม่สามารถทำความเร็วได้สูงถึงค่าสูงสุด จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$j = \frac{da}{dt}$$

$$8 \text{ (mm/s}^3\text{)} = \frac{da}{dt}$$

$$\int [8 \text{ (mm/s}^3\text{)}] dt = \int \left[\frac{da}{dt} \right] dt$$

$$8t + C = a(t)$$

โดยเมื่อเริ่มทำงาน $t = 0$ s ค่าความเร่ง $a = 0$ mm/s²

ได้ $C = 0$

ดังนั้น

$$a(t) = 8t \text{ mm/s}^2$$

จาก

$$a(t) = \frac{dv}{dt}$$

$$8t \text{ (mm/s}^2\text{)} = \frac{dv}{dt}$$

$$\int [8t \text{ (mm/s}^2\text{)}] dt = \int \left[\frac{dv}{dt} \right] dt$$

$$4t^2 + C = v(t)$$

โดยเมื่อเริ่มทำงาน $t = 0$ s ค่าความเร็ว $v = 0$ mm/s

ได้ $C = 0$

ดังนั้น

$$v(t) = 4t^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จาก $v(t) = \frac{ds}{dt}$

$$4t^2 (\text{mm/s}) = \frac{ds}{dt}$$

$$\int [4t^2 (\text{mm/s})] dt = \int \left[\frac{ds}{dt} \right] dt$$

$$\frac{4}{3} t^3 + C = s(t)$$

โดยเมื่อเริ่มทำงาน $t = 0$ s ค่าพิกัด $s = 0$ mm

ได้ $C = 0$

ดังนั้น

$$s(t) = \frac{4}{3} t^3$$

ขนาดเส้นตรงที่ยาวที่สุดที่สามารถเคลื่อนที่ได้ของเครื่องพิมพ์ Ender-3 คือ 200 mm แทนในสมการ $s(t)$

$$s(t) = \frac{4}{3} t^3$$

$$200 \text{ mm} = \frac{4}{3} t^3$$

$$t = 5.31 \text{ s}$$

แทนเวลาที่ได้ในสมการ $v(t)$

$$v(t) = 4t^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ โดยอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ได้ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_{max} = 112.78 \text{ mm/s}$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้า ที่มีความเร็วการพิมพ์สูงสุดที่ 120 มิลลิเมตร/วินาที โดยค่าความเร็วนี้อาจมีค่าลดลงเมื่อไม่ได้วิ่งจากขีดสุดไปยังจุดอีกด้านหนึ่ง

4.4 การทดสอบพิมพ์ Bumpy Lumpy Vase

เป็นการแสดงให้เห็นถึงขีดจำกัดของการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยให้ทำการพิมพ์ชิ้นงานชื่อ Bumpy Lumpy Vase ซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีการเลี้ยวโค้งจำนวนมาก ในระยะเวลาสั้น ๆ ทำให้ระบบต้องประมวลผลทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่มากกว่าในการพิมพ์ปกติ



รูปที่ 4.5 Lumpy Bumpy Vase

เมื่อพิมพ์ชิ้นงาน ได้ผลว่า การเคลื่อนที่เครื่องพิมพ์มีการหยุดชะงักในบางส่วน ส่งผลให้ตัวฟิลลาเมนต์ที่ถูกให้ความร้อนค้างไว้หยดย้อยลงมาที่ตัวชิ้นงานในจุดที่มีการหยุดชะงัก เกิดเป็นก้อน ๆ ตะปุ่มตะป่ำที่ผิวของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5 การทดสอบ 3DBenchy Test

3D Benchy เป็นชื่อโมเดลที่ถูกออกแบบให้ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

โดยได้ทดสอบการพิมพ์ในความเร็วต่าง ๆ ตั้งแต่ 20 mm/s จนถึงความเร็วสูงสุดของเครื่องคือ 120 mm/s โดยเพิ่มทีละ 20 mm/s แล้วเปรียบเทียบกันเพื่อหาคุณภาพที่ยอมรับได้

ได้ความเร็วที่คุณภาพยอมรับได้อยู่ที่ 40 mm/s



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยแบ่งเป็นส่วนแรกคือการเพิ่มความเร็วในการพิมพ์ ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี วิธีแรกเพิ่มความเร็วโดยการเปลี่ยน Extruder ให้เป็นแบบ Dual Drive Extruder เพื่อให้ความเร็วในการลำเลียง เส้นพลาสติกได้เร็วขึ้น วิธีที่สองจะติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่ ใช้เฟิร์มแวร์ KLIPPER ในการกำจัดการสั่นจากความถี่ resonance ด้วยเทคนิค input shaping ส่วนที่สองทำการเพิ่มการส่งพิมพ์ออนไลน์ โดยใช้ OCTOPRINT รวมไปถึงการตรวจจับการพิมพ์ที่ผิดปกติและยกเลิกในทันทีด้วยการฝึกโปรแกรม ประมวลผลภาพ spaghetti detective



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nattawat, “3D Printer คืออะไร,” 14 ตุลาคม 2563. [ออนไลน์].
Available: <https://www.siamreprint.com/2015/10/what-is-3d-printer/>.
[เข้าถึงเมื่อ 13 มกราคม 2563].
- [2] HARN Engineering Solutions, “ทำความรู้จักกับ เครื่องพิมพ์ 3 มิติ,”
HARN Engineering Solutions, [ออนไลน์].
Available: <https://www.harn.co.th/articles/introduction-to-3d-printing/>.
[เข้าถึงเมื่อ 13 มกราคม 2021].
- [3] ค. ภูริรักษ์, “เอกสารประกอบการสอนวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น,” วิทยาลัยเทคนิคสระบุรี, [ออนไลน์].
Available: http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_1.pdf.
[เข้าถึงเมื่อ 20 มกราคม 2563].
- [4] สำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, “หน่วยประมวลผล,” มหาวิทยาลัยขอนแก่น, [ออนไลน์].
Available: https://home.kku.ac.th/hslib/412141/412141_2548/c1s3cpu.htm.
[เข้าถึงเมื่อ 13 มกราคม 2563].
- [5] น. ห. แ. น. บุญปก, "การประยุกต์ใช้รหัสเบอรรี่พายควบคุมเครื่องทำน้ำอุ่น," ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต , สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย, มหาวิทยาลัยสยาม.
- [6] “Raspberry Pi 4,” 25 มิถุนายน 2562. [ออนไลน์].
Available: <https://www.raspberrypithailand.com/en/articles/162986-raspberry-pi-4>
. [เข้าถึงเมื่อ 2564 มกราคม 15].
- [7] K. O. Connor, "Resonance Compensation," [Online].
Available: https://www.klipper3d.org/Resonance_Compensation.html#ringing-frequency.
[Accessed 7 February 2021].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [8] **"Vibrations and Ringing,"** [Online].
Available: <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/vibrations-and-ringing/>. [Accessed 7 February 2021].
- [9] A. Jennings, **"Troubleshooting Common 3D Printing Problems,"** March 2021. [Online].
Available: <https://all3dp.com/1/common-3d-printing-problems-troubleshooting-3d-printer-issues/>. [Accessed 2021 March 14].
- [10] H. Kondo, **"Haunted Prints, 3D Printing: Ghosting / Ringing – 3 Easy Fixes,"** 29 November 2019. [Online]. Available: <https://all3dp.com/2/3d-printer-ringing-easy-fixes/>. [Accessed 7 February 2021].
- [11] **"Inertia and Mass,"** [Online].
Available: <https://www.physicsclassroom.com/class/newtlaws/Lesson-1/Inertia-and-Mass>. [Accessed 7 February 2021].
- [12] ด. ก. ณ. นิตินรงค์ พงษ์พานิช, “การปรับลักษณะสัญญาณอ้างอิงกับเทคนิคควบคุมป้อนกลับเชิงปริมาณเพื่อลดการสั่นสะเทือนของแขนกลชนิดยัดหยุ่น,”
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2557.
- [13] T. Singh and W. Singhose, **"Tutorial on Input Shaping/Time Delay Control of Maneuvering Flexible Structure,"** [Online].
Available: http://code.eng.buffalo.edu/tdf/papers/acc_tut.pdf. [Accessed 12 February 2021].
- [14] **"How does the UP 3D printer's print head (Extruder) work?,"** 3 October 2014. [Online].
Available: <https://3dprintingsystems.freshdesk.com/support/solutions/articles/4000003132-how-does-the-up-3d-printer-s-print-head-extruder-work->. [Accessed 2021 February 8].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [15] “10 ปลั๊กอิน OctoPrint ที่ดีที่สุด,” [ออนไลน์].
Available:
<http://th.tipsandtricks.tech/10%E0%B8%9B%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B9%8A%E0%B8%81%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%99octoprint%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%94%E0%B8%B5%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%AA%E0%B8%B8%E0%B8%94>.
[เข้าถึงเมื่อ 21 มีนาคม 2021].
- [16] "Octoprint คืออะไร," [Online].
Available: <http://https://www.sync-innovation.com/3d-printer-technique/octoprint-install/>.
[Accessed 26 พฤษภาคม 2564].
- [17] “Octoprint,” [ออนไลน์].
Available: <https://th.hmong.wiki/wiki/OctoPrint>.
[เข้าถึงเมื่อ 26 พฤษภาคม 2564].
- [18] K. SERTOGLU, "OPEN SOURCE SPAGHETTI DETECTIVE AI SOFTWARE DETECTS FAILED PRINTS THROUGH WEBCAM," 8 April 2020. [Online].
Available: <https://3dprintingindustry.com/news/open-source-spaghetti-detective-ai-software-detects-failed-prints-through-webcam-170623/>. [Accessed 2021 May 24].
- [19] Nattawat, “อยากเป็นเซียนเครื่องพิมพ์ 3D Printer ต้องรู้จัก G-Code,” [ออนไลน์]. Available: <https://www.siamreap.com/2017/05/want-to-be-3d-printing-expert-must-know-gcode/>.
[เข้าถึงเมื่อ 24 พฤษภาคม 2021].
- [20] thinkyhead (pen name), "G-code Index," [Online]. Available: <https://marlinfw.org/meta/gcode/>.
[Accessed 20 March 12].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.